



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TESIS** TF 092325

**JUDUL** **Kajian Eksperimental Sensor Pergeseran Rentang Panjang Menggunakan Serat Optik Berstruktur Singlemode-Multimode-Singlemode (SMS)**

Agus Rino  
NRP. 2411201702

**PEMBIMBING**  
Prof. Dr.Ir. Sekartedjo, M.Sc.  
Agus Muhamad Hatta, Ph.D

PROGRAM MAGISTER TEKNIK FISIKA  
JURUSAN TEKNIK FISIKA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2014



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**THESIS TF 092325**

**TITLE Experimental Studies of Long Range Displacement  
Sensor Using Singlemode-Multimode-Singlemode  
(SMS) Fiber Optic Structure**

Agus Rino  
ID No. 2411201702

**SUPERVISORS**

Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc  
Agus Muhamad Hatta S.T., M.Si, Ph.D

**MASTER PROGRAM OF ENGINEERING PHYSICS**

**DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS**

**FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY**

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**SURABAYA**

**2014**



Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknologi (M.T)

Di Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

oleh

**AGUS RINO**

NRP. 2411201702

Tanggal Ujian : 19 November 2013

Periode Wisuda : Maret 2014

Disetujui oleh :

1. Pembimbing I

NIP

Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc

19500402 1979011 001

2. Pembimbing II

NIP

Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D

19780902 2003121 002

3. Penguji I

NIP

Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, M.T.

196601161989032 001

4. Penguji II

NIP

Dr. Gunawan Nugroho, S.T., M.T.

19771127 2002121 002

5. Penguji III

NIP

Dr.rer.nat. Ir. Aulia MT Nasution M.Sc

196711171997021 001

Direktur Program Pascasarjana – ITS

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T.

NIP. 196404051990021001



## UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan mengucapkan Bismillahirrahmanirrahim, penulis bersyukur kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya penulis diberikan kesehatan dan kekuatan dalam menyelesaikan laporan Tesis yang berjudul : **"KAJIAN EKSPERIMENTAL SENSOR PERGESERAN RENTANG PANJANG MENGGUNAKAN SERAT OPTIK BERSTRUKTUR SINGLEMODE – MULTIMODE – SINGLEMODE ( SMS ) "** Ketika menyelesaikan laporan Tesis, penulis didukung oleh berbagai pihak diantaranya : Hibah Penelitian Unggulan ITS 2012 yang telah memfasilitasi penelitian, PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk dalam bentuk peminjaman peralatan dan sarana yang digunakan.

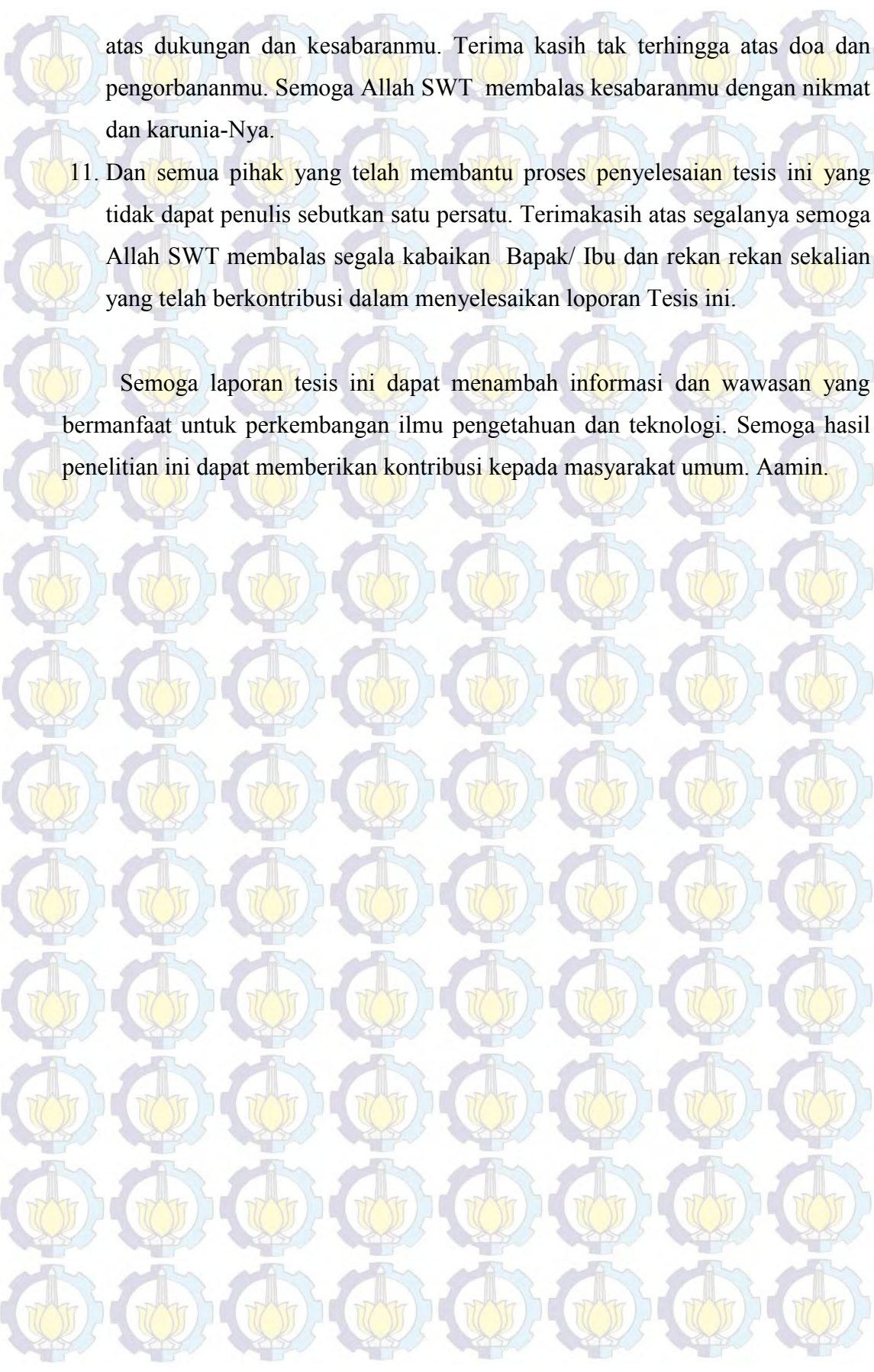
Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah membantu penyelesaian laporan Tesis ini diantaranya :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Sekartedjo M.Sc dan Bapak Agus Muhamad Hatta S.T., M.Si, Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bantuan pemikiran dan meluangkan waktunya untuk penulis, sehingga penulis terbantu dalam menyelesaikan laporan Tesis ini. Terimakasih yang sebesar - besarnya buat pembimbing yang banyak memberikan arahan, ilmu dan pengetahuan serta nasihat – nasihat yang berharga kepada penulis sehingga laporan Tesis ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah M.T., selaku Ketua Prodi S2 Teknik Fisika dan penguji sidang Tesis. Dr. rer. nat. Aulia Muhammad Taufik Nasution, M.Sc, selaku dosen wali dan Ketua Sidang Tesis. Dr. Gunawan Nugroho, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan arahan dan bantuan dalam penyelesaian tesis ini.
3. Dr. Totok Soehartanto, DEA, Dr. Bambang Lelono W., Dr. Eng Dhany Arifianto, M.Eng., Dr. Ali Musyafa, M.Sc, Dr.-Ing. Doty Dewi Risanti, Dr. Totok Rukibiyanto, S.T., M.T., Dr. Purwadi, M.Sc. Yerri Susatio M.T., Katherin Indriawati, M.T., Ya'umar M.T., Ir. Heru Setijono M.Sc, Ir. Apriani Kusumawardhani M.Sc dan seluruh staf pengajar lainnya yang telah mendidik,



- memberikan ilmu dan pengetahuan kepada penulis selama menempuh studi S2 di Jurusan Teknik Fisika FTI – ITS.
4. Bapak Mathius Tambing, asisten manager SKSO/SKKL PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk Rungkut beserta seluruh staf : Bapak Suryanto, Bapak Nashir, Bapak Prapto, Bapak Tono, Bapak Dyon dan Bapak Azrial yang telah memberikan bantuan ketika melakukan *splicing*, pengoperasian alat ukur dan ijin penggunaan peralatan serta membantu penulis dalam proses pengambilan data.
  5. Seluruh staf tata usaha Jurusan Teknik Fisika FTI – ITS, khususnya Bapak Erik, Bu Nurul, Bu Khusnul, Mbak Zeti yang telah memberikan dukungan dan kemudahan dalam kebutuhan administrasi bagi penulis.
  6. Seluruh rekan – rekan mahasiswa S2 di Teknik Fisika FTI ITS yang telah memberikan bantuan dan semangat kepada penulis saat menyelesaikan laporan Tesis, khususnya : Bapak Lamidi, Bapak Roekmono, Bapak Choliq, Bapak Sumber, Saudara Rionda M.T., Ruri Agung M.T, Sungging Haryo Wicaksono M.Sc, Arief M.T, Irwansyah M.T, Arimaz Hangga M.T, Yusuf Santoso M.Sc Anike Purbawati DEA, Elita Fidiya Nugrahani M.Sc, Nafi’ul Matiin M.Sc dan Devina M.T.
  7. Seluruh rekan – rekan di Laboratorium Rekayasa Fotonika Jurusan Teknik Fisika ITS yang telah bersedia membantu penulis ketika melakukan eksperimen. Khususnya Bapak Drs. Arifin Pidie M.T, Mas Reza Araf, Mbak Salina, Mbak Ika, Mas Yoga dan Mbak Siti.
  8. Seluruh keluarga besar di Medan, khususnya Abangda Rosman, Abangda Sudirman dan Abangda Sulaiman Gani yang telah banyak memberikan bantuan serta do’a-nya kepada penulis selama menjalankan pendidikan S2 di Teknik Fisika ITS Surabaya.
  9. Terimakasih buat Ibunda Hj. Dasima dan Ayahnda H. Mawardi yang selalu setia mengirimkan do’a sepanjang malam, sehingga penulis diberikan kesehatan dan kekuatan untuk menyelesaikan laporan Tesis ini.
  10. Ter istimewa buat Istriku Rahmi S Dewi dan Putriku Fadhiya Afif Arino yang telah memberikan semangat dan do’a kepada penulis selama mengikuti pendidikan S2 di Teknik Fisika ITS Surabaya. Istri dan anakku terimakasih





atas dukungan dan kesabaranmu. Terima kasih tak terhingga atas doa dan pengorbananmu. Semoga Allah SWT membalas kesabaranmu dengan nikmat dan karunia-Nya.

11. Dan semua pihak yang telah membantu proses penyelesaian tesis ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu. Terimakasih atas segalanya semoga Allah SWT membalas segala kebaikan Bapak/ Ibu dan rekan rekan sekalian yang telah berkontribusi dalam menyelesaikan laporan Tesis ini.

Semoga laporan tesis ini dapat menambah informasi dan wawasan yang bermanfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi kepada masyarakat umum. Aamin.



# KAJIAN EKSPERIMENTAL SENSOR PERGESERAN RENTANG PANJANG MENGUNAKAN SERAT OPTIK BERSTRUKTUR SINGLEMODE-MULTIMODE-SINGLEMODE (SMS)

Nama : Agus Rino

NRP : 2411201702

Pembimbing I : Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc

Pembimbing II : Agus Muhamad Hatta, Ph.D.

## ABSTRAK

Pergeseran struktur bangunan seperti gedung dan jembatan dapat menimbulkan kerusakan dan bencana. Pergeseran struktur bangunan dapat terjadi karena pengaruh getaran dan pelapukan bahan. Untuk memonitor adanya pergeseran struktur bangunan diperlukan sensor pergeseran dengan sensitivitas tinggi dan rentang pengukuran yang panjang. Pada penelitian sebelumnya, Harald dkk (2005) telah merancang sensor pergeseran dengan Fiber Bragg Grating (FBG). Untuk mendapatkan rentang pergeseran yang lebih panjang, sumbu sensor dibuat membentuk kemiringan atau konfigurasi sudut terhadap arah pergeseran. Namun, penggunaan FBG memerlukan sistem interogasi yang mahal dan kompleks. Pada penelitian ini, serat optik berstruktur *singlemode-multimode-singlemode* (SMS) dirancang sebagai sensor pergeseran rentang panjang dengan konfigurasi sudut terhadap arah pergeseran. Sensor optik berstruktur SMS merupakan salah satu sensor yang mudah dan murah difabrikasi dibandingkan dengan FBG. Pemberian sudut atau kemiringan pada sumbu sensor akan memperkecil regangan, sehingga sensor SMS dapat mengukur pergeseran pada rentang yang lebih panjang. Pada penelitian ini terdapat dua parameter yang dapat mempengaruhi kinerja sensor: i) panjang serat optik *multimode*, dan ii) kemiringan sensor, terhadap sensitivitas dan rentang pergeseran pengukuran. Pengukuran daya optik pada eksperimen ini menggunakan *optical power meter* JDSU OLP 38 dan laser OLS 35 dengan panjang gelombang 1550 nm dan 1310 nm. Ketika digunakan laser dengan panjang gelombang ( $\lambda$ ) 1550 nm, maka sensitivitas terbaik terdapat pada sensor SMS yang menggunakan panjang serat optik *multimode* 8 cm dengan sensitivitas 0,033 dBm/mm. Ketika digunakan laser dengan panjang gelombang ( $\lambda$ ) 1310 nm maka diperoleh sensitivitas terbaik pada sensor SMS yang menggunakan panjang *multimode* 10 cm dengan sensitivitas 0,038 dBm/mm. Ketika sumbu sensor diberi kemiringan atau sudut  $\theta = 20^\circ$  maka sensor dapat mencapai rentang pergeseran



sepanjang 0 – 8 mm. Hasil rancangan sensor menunjukkan sensitivitas dan rentang pengukuran yang baik dan sesuai untuk sensor pergeseran rentang panjang dalam berbagai aplikasi.

**Kata kunci** :Sensor pergeseran, serat optik SMS, konfigurasi sudut pergeseran, regangan.



# **EXPERIMENTAL STUDIES OF LONG RANGE DISPLACEMENT SENSOR USING SINGLEMODE- MULTIMODE-SINGLEMODE (SMS) FIBER OPTIC STRUCTURE**

**Name** : Agus Rino

**Reg. Number** : 2411201702

**AdvisorI** : Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc

**AdvisorII** : Agus Muhamad Hatta, Ph.D.

## **ABSTRACT**

Displacement on the civil structures such as buildings and bridges can cause destructions and disasters. Displacement on the civil structures can be caused by seismic activities and weather factors. In order to monitor the displacement in the civil structures, it is required a high sensitivity of a long range displacement sensor. In the previous research, Harald et al, (2005) has proposed a fiber-Bragg grating (FBG) as a long range displacement sensor. To obtain a longer range displacement, the FBG fiber axis is modified to create an inclination or an angle configuration to the applied displacement. However, the FBG implementation needs a complex and expensive interrogation system. In this thesis, a singlemode-multimode-singlemode (SMS) fiber structure is designed as a long range displacement sensor by using the angle configuration to the applied displacement. The SMS fiber structure –based sensors is a simpler and inexpensive in term of fabrication as compared to the FBG. The applied angle or inclination sensor axis to the displacement will reduce the strain and therefore the SMS sensor can measure a longer displacement range. There were two parameters can induce the sensor's performance need to be investigated: i) the multimode section length of the SMS fiber structure, and ii) the sensors' inclination with respect to its sensitivity and displacement range. Optical power measurement were employed in this experimental by utilizing a laser source OLS35 with the output wavelength of 1550 nm and 1310 nm, and an optical power meter JDSU OLP 38. For the operational laser wavelength of 1550 nm, the best sensitivity can be obtained when the length of multimode section is 8 cm with the sensitivity of 0.033 dBm/mm. In the other hand, the best sensitivity of 1310 nm light source can be obtained when the multimode section length is 10 cm with the sensitivity of 0.038 dBm/mm. It was demonstrated that the sensor configuration with the inclination of  $\theta = 20^{\circ}$  can achieve a displacement range from 0 to 8 mm. The current design show a good sensitivity and



measurement range which is suitable for the long range displacement sensor in any applications.

Keywords : Displacement sensor, SMS optical fiber structure, inclination displacement configuration, strain.



# DAFTAR ISI

## LEMBAR PENGESAHAN

v

## UCAPAN TERIMA KASIH

vii

## ABSTRAK

xi

## ABSTRACT

xiii

## DAFTAR ISI

xv

## DAFTAR GAMBAR

xvii

## DAFTAR TABEL

xix

## DAFTAR LAMPIRAN

xxi

## BAB 1 PENDAHULUAN

1

### 1.1 Latar Belakang

1

### 1.2 Perumusan Masalah

3

### 1.3 Batasan masalah

3

### 1.4 Tujuan Penelitian

4

### 1.5 Manfaat Penelitian

4

### 1.6 Sistematika Laporan

4

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

5

### 2.1. Sensor pergeseran Serat optik

5

#### 2.1.1 Serat optik FBG sebagai sensor pergeseran

5

#### 2.1.2 Serat optik singlemode sebagai sensor pergeseran

6

#### 2.1.3 Serat optik SMS sebagai sensor regangan

7

### 2.2 Regangan dan pergeseran

9

#### 2.2.1 Regangan dan kompresi

9

#### 2.2.2 Regangan pada posisi lurus

9

#### 2.2.3 Regangan pada posisi miring

10

### 2.3. Regangan pada serat optik SMS

11

### 2.4. Sensor

12



2.4.1 Pengertian sensor	12
2.4.2 Karakteristik sensor	12
2.5. Serat optik	14
2.5.1 Definisi serat optik	14
2.5.2 Susunan serat optik	15
2.5.3 Jenis jenis serat optik	15
2.6 Perambatan cahaya dalam serat optik	17
2.7 Serat optik berstruktur SMS	19
2.8 Pengaruh MMI pada serat optik SMS	20
2.9 Estimasi rugi daya pada serat optik berstruktur SMS	25
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>27</b>
3.1 Diagram alir penelitian	27
3.2 Alat dan Bahan	28
3.3 Perancangan sensor optik SMS	28
3.4 Pengujian rugi daya terhadap sambungan sensor SMS	29
3.5 Pengujian serat optik SMS sebagai sensor pergeseran	30
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>33</b>
4.1 Hasil uji sensor pergeseran menggunakan laser 1550 nm	33.
4.2 Hasil uji sensor pergeseran menggunakan laser 1310 nm	41
4.3 Estimasi rugi daya sensor optik berstruktur SMS	44
4.3.1 Error pengukuran	47
4.4 Hubungan antara regangan dan panjang serat optik SMS	50
4.5 Hubungan antara regangan dan kemiringan sensor	51
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>53</b>
5.1 Kesimpulan hasil penelitian	53
5.2 Saran – saran	54
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>57</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>61</b>



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	(a) Skema monitoring pergeseran struktur bangunan (b) Skema pergeseran sensor FBG	6
<b>Gambar 2.2</b>	(a) Skema konfigurasi sensor optik dalam (b) Skema monitoring pergeseran struktur beton	7
<b>Gambar 2.3</b>	Skema monitoring serat optik SMS sebagai sensor regangan	8
<b>Gambar 2.4</b>	Hubungan regangan terhadap rugi daya	8
<b>Gambar 2.5</b>	(a) Regangan pengaruh tarikan (b) Regangan pengaruh kompresi	9
<b>Gambar 2.6</b>	Regangan pada posisi lurus	10
<b>Gambar 2.7</b>	Skema regangan pada posisi miring	11
<b>Gambar 2.8</b>	Skema elemen sistem pengukuran	13
<b>Gambar 2.9</b>	Susunan serat optik	15
<b>Gambar 2.10</b>	Jenis jenis serat optik	17
<b>Gambar 2.11</b>	Perambatan cahaya dalam serat optik	18
<b>Gambar 2.12</b>	Skema serat optik berstruktur SMS	19
<b>Gambar 2.13</b>	Skema <i>Multimode wave guide</i> serat optik SMS	20
<b>Gambar 2.14</b>	(a) Spektrum daya keluaran akibat temperatur (b) Spektrum daya keluaran akibat regangan	24
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram alir penelitian	27
<b>Gambar 3.2</b>	Pengujian sambungan serat optik SMS	29
<b>Gambar 3.3</b>	(a) Set up peralatan sensor pergeseran SMS dan (b) Skema pergeseran akibat tarikan	30
<b>Gambar 4.1</b>	Grafik hubungan pergeseran terhadap rugi daya dengan laser panjang gelombang 1550 nm (a) Menggunakan panjang serat optik <i>multimode</i> 10 cm. (b) Menggunakan panjang serat optik <i>multimode</i> 8 cm. (c) Menggunakan panjang serat optik <i>multimode</i> 6 cm. (d) Menggunakan panjang serat optik <i>multimode</i> 4 cm.	34



**Gambar 4.2** Jarak titik *re – imaging* dalam serat optik SMS dengan laser panjang gelombang 1550 nm

38

**Gambar 4.3** Grafik hubungan pergeseran terhadap rugi daya dengan laser panjang gelombang 1310 nm (a) Menggunakan panjang serat optik *multimode* 10 cm. (b) Menggunakan panjang serat optik *multimode* 8 cm. (c) Menggunakan panjang serat optik *multimode* 6 cm. (d) Menggunakan panjang serat optik *multimode* 4 cm.

42

**Gambar 4.4** Jarak titik *re – imaging* dalam serat optik SMS dengan laser panjang gelombang 1310 nm

43

**Gambar 4.5** Estimasi rugi daya sensor SMS dengan laser panjang gelombang 1550 nm (a) Menggunakan panjang serat optik *multimode* 10 cm. (b) Menggunakan panjang serat optik *multimode* 8 cm. (c) Menggunakan panjang serat optik *multimode* 6 cm. (d) Menggunakan panjang serat optik *multimode* 4 cm

45

**Gambar 4.6** Estimasi rugi daya sensor SMS dengan menggunakan laser panjang gelombang 1310 nm (a) Menggunakan panjang serat optik *multimode* 10 cm. (b) Menggunakan panjang serat optik *multimode* 8 cm. (c) Menggunakan panjang serat optik *multimode* 6 cm. (d) Menggunakan panjang serat optik *multimode* 4 cm

46

**Gambar 4.7** Hubungan regangan terhadap panjang serat optik *multimode*

50

**Gambar 4.8** Hubungan regangan terhadap kemiringan sensor

52



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 4.1</b>	Regangan serat optik SMS terhadap sudut / kemiringan sensor	36
<b>Tabel 4.2</b>	Sensitivitas sensor terhadap laser panjang gelombang 1550 nm	39
<b>Tabel 4.3</b>	Sensitivitas sensor terhadap laser panjang gelombang 1310 nm	44
<b>Tabel 4.4</b>	Estimasi rugi daya sensor SMS dengan regresi linier	47
<b>Tabel 4.5</b>	Error pengukuran pada masing masing sensor optik SMS dengan laser panjang gelombang 1550 nm	48
<b>Tabel 4.6</b>	Error pengukuran dari masing masing sensor optik SMS dengan laser panjang gelombang 1310 nm	49
<b>Tabel 4.7</b>	Pengaruh panjang serat optik multimode terhadap regangan sensor SMS	51



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Data Pengukuran dengan Laser panjang gelombang 1550 nm 61

Lampiran B Data Pengukuran dengan Laser panjang gelombang 1310 nm 65

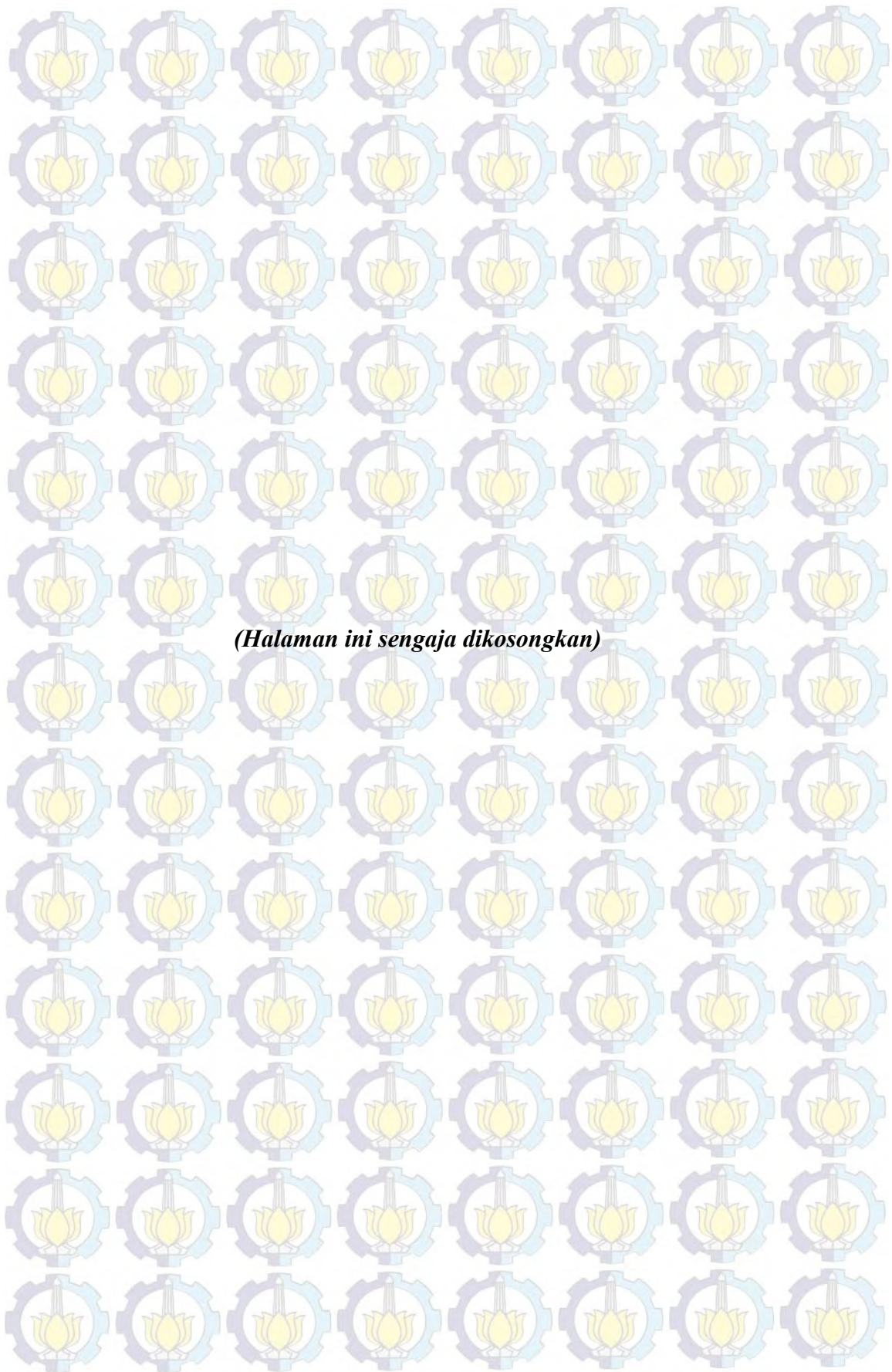
Lampiran C Data Estimasi dengan Laser panjang gelombang 1550 nm 69

Lampiran D Data Estimasi dengan Laser panjang gelombang 1310 nm 71

Lampiran E Alat-alat yang digunakan dalam Penelitian 73

Lampiran F Publikasi Penelitian 77







# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pergeseran merupakan peristiwa berpindahnya sebuah obyek dari suatu posisi ke posisi yang lainnya (Fraden, 2003). Peristiwa pergeseran sering terjadi pada struktur bangunan seperti gedung dan jembatan. Pergeseran struktur bangunan seperti gedung dan jembatan dapat menimbulkan kerusakan infrastruktur dan bencana. Pergeseran struktur bangunan dapat disebabkan oleh berbagai faktor diantaranya akibat pengaruh getaran dan pelapukan material ( Kim dkk, 2004 ). Untuk mendeteksi adanya pergeseran pada struktur bangunan seperti gedung dan jembatan dapat diawasi dengan menggunakan sensor optik. Saat ini sensor optik telah banyak dikembangkan dan diaplikasikan dalam berbagai penelitian seperti pengukuran aktivitas seismik dan kondisi struktur bangunan ( Harald dkk, 2005 ). Sensor optik merupakan salah satu sensor yang banyak memiliki keuntungan jika dibandingkan terhadap sensor konvensional, diantaranya: tahan terhadap interferensi medan elektro magnetik, memiliki ukuran yang kecil dan ringan, tidak menimbulkan percikan api serta tahan terhadap korosi ( Buchade dkk, 2006 ). Sensor pergeseran serat optik memberikan peranan yang besar dalam bidang industri, militer dan aplikasi kedokteran. Keuntungan utama penggunaan sensor pergeseran serat optik yaitu handal dan memiliki keakuratan untuk pengukuran *non contact* (Binu dkk, 2007 ).

Pada penelitian sebelumnya serat optik telah digunakan untuk monitoring pergeseran, diantaranya serat optik Fiber Bragg Grating (FBG) yang digunakan untuk memantau pergeseran struktur bangunan (Harald dkk, 2005 ). Serat optik *singlemode* dapat juga digunakan sebagai sensor pergeseran dan telah diaplikasikan untuk monitoring keretakan struktur beton ( Hadi, 2011). Hal ini menunjukkan bahwa serat optik telah banyak diaplikasikan untuk sensor pergeseran. Penggunaan serat optik FBG sebagai sensor pergeseran masih memerlukan biaya yang mahal. Pada sisi lain sensor FBG juga masih memerlukan sirkulator optik



dan proses interrogasi yang kompleks ( Yin, 2002 dan Wahyuni, 2011 ). Sebagai alternatif untuk sensor pergeseran maka dalam penelitian ini digunakan serat optik berstruktur *singlemode-multimode-singlemode* (SMS). Sensor optik berstruktur SMS merupakan suatu sensor yang sensitiv terhadap temperatur dan regangan. Pemanfaatan serat optik berstruktur SMS sebagai sensor optik memiliki banyak keuntungan sebab memiliki sensitivitas yang tinggi, tidak membutuhkan waktu yang lama saat proses fabrikasi dan biaya yang relatif murah ( Gao dkk, 2009 dan Hatta dkk, 2009 ). Proses fabrikasi serat optik berstruktur SMS memiliki konstruksi yang sederhana sebab proses fabrikasi dilakukan dengan cara menyambungkan serat optik *singlemode* pada kedua sisi serat optik *multimode* secara *axial* dengan menggunakan alat penyambung *fusion splicer* (Kumar dkk, 2003 ). Saat ini sensor SMS telah banyak dikembangkan dalam berbagai penelitian seperti *edge filter* untuk meningkatkan akurasi dalam pengukuran panjang gelombang ( Hatta dkk, 2010 ), sensor suhu, sensor regangan untuk mengetahui regangan pada suatu titik maupun regangan secara *multipoints* ( Hatta dkk, 2013 ). Dengan mempertimbangkan kelebihan yang ada pada serat optik berstruktur SMS maka pada penelitian ini serat optik tersebut akan dimanfaatkan untuk sensor pergeseran.

Pada penelitian sebelumnya ( Hatta dkk, 2013 ), serat optik berstruktur SMS dibuat sebagai sensor regangan. Sistem kerja sensor regangan yaitu akibat adanya *input* atau gaya berupa tarikkan sehingga terjadi regangan dan pergeseran pada sensor. Pergeseran yang dialami sensor berupa pergeseran yang lurus dimana sumbu sensor tidak membentuk sudut atau kemiringan, pergeseran berada pada posisi  $\theta = 0^0$ . Pergeseran sensor SMS yang lurus akan memberikan sensitivitas yang tinggi namun akan menghasilkan rentang pergeseran yang relatif kecil (1 mm).

Untuk mengembangkan penelitian diatas, maka pada penelitian ini sensor pergeseran dirancang membentuk sudut atau kemiringan dengan konfigurasi yang bervariasi terhadap sumbu sensor. Pemberian sudut atau kemiringan pada sumbu sensor bertujuan untuk mendapatkan rentang pergeseran yang panjang. Dalam penelitian ini sumbu sensor diberi simpangan beberapa derajat dari posisi mula-mula sehingga sumbu sensor membentuk sudut. Pemberian simpangan atau sudut



pada sumbu sensor serat optik berstruktur SMS akan menyebabkan sensor menjadi kurang sensitif namun memberikan rentang pergeseran yang lebih panjang. Rentang pergeseran yang panjang sangat dibutuhkan untuk pemantauan pergeseran struktur bangunan seperti pergeseran gedung, terowongan dan jembatan.

### **1.2. Perumusan Masalah.**

Permasalahan pada penelitian ini yaitu bagaimana merancang sensor pergeseran berbasis serat optik berstruktur SMS yang bisa dimanfaatkan untuk pergeseran rentang panjang dan bagaimana pengaruh konfigurasi sudut terhadap *performance* sensor jika digunakan sumber laser dengan panjang gelombang yang berbeda dan *optical powermeter* sebagai alat ukur ?

### **1.3. Batasan Masalah.**

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Pembuatan sensor struktur SMS akan dibatasi dengan panjang serat optik multimode yang berbeda-beda diantaranya 4, 6, 8, dan 10 cm dan variasi sudut ( $\theta$ ) =  $0^0$ ,  $5^0$ ,  $10^0$ ,  $15^0$ ,  $20^0$
2. Laser yang digunakan memiliki panjang gelombang 1310 nm dan 1550 nm.
3. Untuk mengetahui adanya rugi daya yang terjadi pada serat optik, maka digunakan detektor *optical power meter*.
4. Jenis pergeseran yang dilakukan sebatas pergeseran longitudinal pada sumbu horizontal
5. Serat optik *singlemode* yang digunakan adalah tipe *corning* SMF-28 (diameter *core* 8,3  $\mu\text{m}$ ).
6. Serat optik *multimode* yang digunakan adalah tipe GIF 625–100 (diameter *core* 62,5  $\mu\text{m}$ )



#### **1.4. Tujuan**

Tujuan utama dari usulan penelitian ini adalah untuk merancang sensor pergeseran berbasis serat optik berstruktur SMS yang dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi dan mengawasi pergeseran pada rentang yang panjang.

#### **1.5. Manfaat**

Hasil dari penelitian ini dapat memberikan informasi bahwa serat optik SMS dapat dimanfaatkan sebagai sensor pergeseran rentang panjang yang berguna untuk mendeteksi dan memonitoring adanya pergeseran pada struktur bangunan seperti gedung dan jembatan.

#### **1.6 Sistematika Laporan**

Laporan ini terdiri dari lima bagian diantaranya : Bab I Pendahuluan menjelaskan latar belakang dari penelitian, perumusan masalah, batasan masalah dari penelitian, tujuan dari penelitian, manfaat dari penelitian. Bab II Tinjauan pustaka, menjelaskan secara singkat teori-teori yang terkait dalam penulisan tesis. Bab III Metodologi penelitian menjelaskan tentang metodologi yang digunakan dalam penelitian. Pemanfaatan sensor untuk pengawasan pergeseran berbasis serat optik berstruktur *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS). Selanjutnya BAB IV Hasil dan pembahasan berisi analisa hasil data penelitian, grafik dan karakteristik sistem sensor pergeseran yang dikembangkan. Terakhir BAB V Kesimpulan dan Saran berisi tentang kesimpulan pokok dari seluruh rangkaian penelitian yang telah dilakukan dan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.



## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sensor pergeseran serat optik

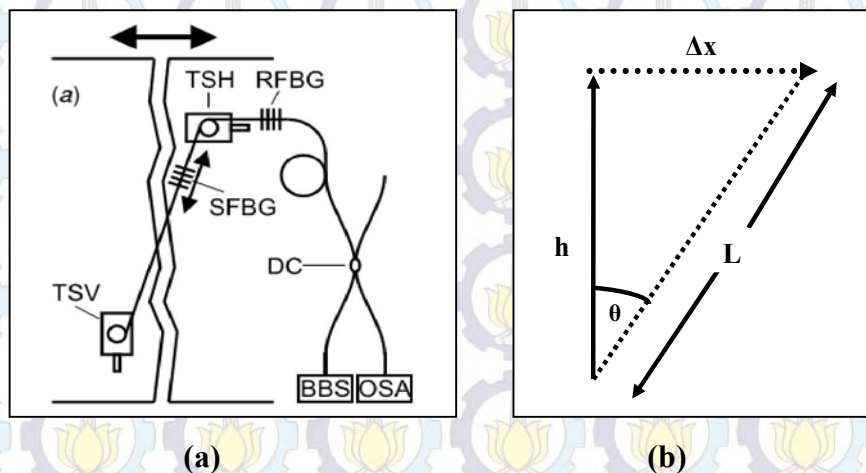
Pada bab ini akan membahas teori-teori yang mendukung mengenai sensor optik sebagai sensor pergeseran. Saat ini penggunaan sensor optik telah banyak diimplementasikan dalam berbagai macam sensor sebab sensor optik memiliki konstruksi yang sederhana, biaya yang murah dan handal (Buchade dkk, 2006 ). Ketika merancang sensor pergeseran berbasis serat optik maka banyak faktor yang mesti diperhatikan diantaranya sensor optik hindari dari pengaruh cahaya luar atau yang ada di sekitarnya (*ambient light*) yang dianggap sebagai *noise* (Patil dkk, 2011). Untuk mendapatkan sensitivitas dan linieritas yang baik dari sensor optik maka perlu diperhatikan cara penggunaan dan pemilihan sumber cahaya (laser) serta cara disain sensor (Harun dkk, 2011). Berbagai jenis sensor optik telah banyak digunakan untuk mendeteksi adanya pergeseran.

##### 2.1.1 Serat optik *Fiber Bragg Grating* (FBG) sebagai sensor pergeseran.

Serat optik FBG memiliki sensitivitas yang tinggi dan merupakan jenis serat optik yang dapat memantulkan kembali sinyal optik yang masuk ke dalamnya dengan panjang gelombang tertentu. Spesifikasi panjang gelombang Bragg bergantung terhadap dimensi FBG. Ketika diberi gaya maka serat optik FBG akan mengalami deformasi sehingga terjadi perubahan panjang gelombang Bragg-nya. Prinsip utama sensor FBG selalu berdasarkan pada *demodulation* pemantulan panjang gelombang ketika merespon temperatur dan regangan. ( Changyu dkk, 2011 dan Kuntaraco, 2013 ). Pada tahun 2005 Harald melakukan penelitian dengan menggunakan serat optik FBG untuk sensor pergeseran. Penggunaan serat optik FBG sebagai sensor pergeseran telah diaplikasikan untuk pengawasan pergeseran struktur bangunan, dalam kasus ini yang mengalami pergeseran adalah dinding bangunan. Untuk mengetahui berapa jauh terjadinya pergeseran antara



dua dinding maka serat optik FBG dihubungkan pada kedua dinding bangunan tersebut, sehingga pergeseran kedua dinding tersebut akan terdeteksi oleh sensor FBG. Metoda penelitian ini menjelaskan bahwa ketika dinding mengalami pergeseran maka serat optik FBG akan tertarik sehingga terjadi perubahan fisis pada sensor, hal ini akan menyebabkan terjadinya pelemahan daya optik. Sensor optik FBG yang terdapat pada dinding diberi kemiringan beberapa derajat sehingga membentuk sudut seperti yang tampak pada Gambar 2.1 (a). Pemberian sudut atau kemiringan pada sensor FBG adalah untuk memperoleh rentang pergeseran yang lebih panjang seperti yang tampak pada Gambar 2.1 (b) namun hal ini akan mengurangi tingkat sensitivitas sensor ( Harald dkk, 2005 ). Rentang pergeseran yang panjang sangat diperlukan untuk monitoring pergeseran struktur bangunan seperti gedung dan jembatan.



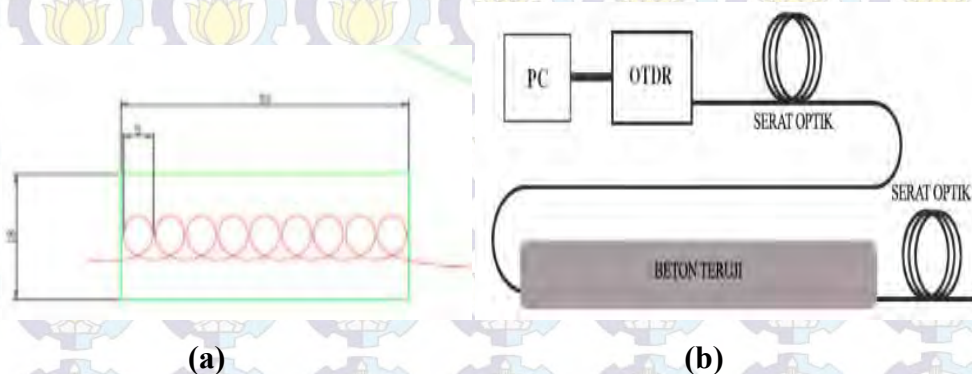
Gambar 2.1 (a) Skema monitoring pergeseran struktur bangunan  
(b) Skema pergeseran sensor FBG ( Harald dkk,2005 )

### 2.1.2 Serat optik singlemode sebagai sensor pergeseran.

Penggunaan serat optik *singlemode* sebagai sensor pergeseran telah dieksperimenkan untuk pengawasan keretakan struktur beton. Untuk mengetahui adanya pergeseran atau keretakan struktur beton, dapat dideteksi dengan cara memasukan serat optik kedalam struktur beton atau menyusun dan meletakkan posisi serat optik dibawah struktur beton. Bentuk konfigurasi serat optik dalam struktur beton tampak seperti pada Gambar 2.2 (a). Keretakan struktur beton



disebabkan oleh adanya gaya berupa tekanan yang dialami beton. Retakan struktur beton akan mengakibatkan terjadinya perubahan konfigurasi serat optik yang terdapat di dalam struktur beton dan menyebabkan serat optik menjadi tertekuk (*bending*). Serat optik yang tertekuk oleh beton akan mengalami deformasi sehingga intensitas cahaya yang merambat di dalam serat optik akan berkurang dan terjadi pelemahan daya optik apabila terukur oleh detektor. Skema monitoring keretakan beton dengan menggunakan serat optik *singlemode* ditunjukkan pada Gambar 2.2(b)



Gambar 2.2 (a) Skema konfigurasi sensor optik dalam beton.

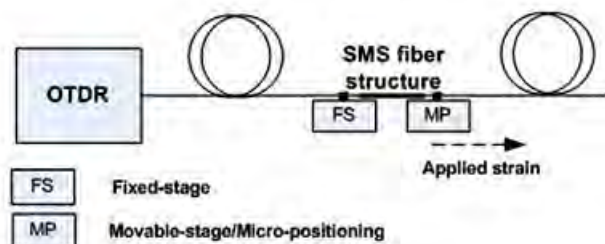
(b) Skema monitoring pergeseran struktur beton ( Hadi, 2011)

### 2.1.3 Serat optik SMS sebagai sensor regangan

Pemanfaatan serat optik SMS untuk sensor regangan telah dilakukan oleh Hatta dkk. Pada penelitian ini dijelaskan bahwa serat optik SMS mengalami regangan akibat adanya gaya luar berupa tarikan. Tarikan dilakukan dengan menggunakan *micrometer displacement*, sehingga dapat diketahui jarak pergeseran yang telah terjadi pada sensor optik SMS. Tarikan yang dilakukan pada serat optik SMS akan menimbulkan terjadinya regangan dan pergeseran pada sensor. Dalam eksperimen ini pergeseran yang dilakukan pada sensor berupa pergeseran pada arah yang lurus, dimana sumbu sensor tidak membentuk sudut atau kemiringan dan pergeseran berada pada posisi  $0^0$  seperti yang tampak pada Gambar 2.3. Pergeseran pada arah yang lurus akan menghasilkan sensitivitas sensor yang tinggi namun rentang pergeseran yang dicapai relatif kecil. Dalam eksperimen ini pergeseran yang dilakukan terhadap sensor SMS dengan kenaikan

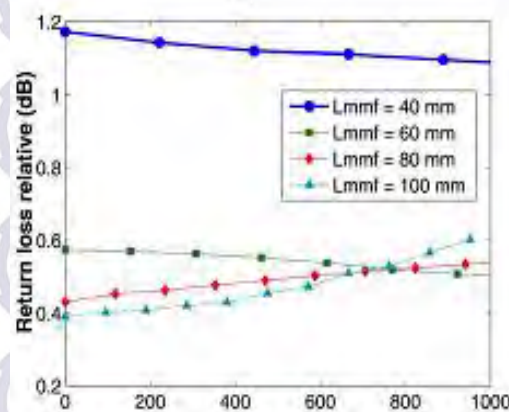


100  $\mu\text{m}$  setiap pergeseran seperti yang tampak pada Gambar 2.4 namun rentang pergeseran yang diperoleh relatif kecil, antara 100 - 1000  $\mu\text{m}$ . Rentang pergeseran yang kecil kurang sesuai jika dimanfaatkan untuk pemantauan pergeseran struktur bangunan seperti jembatan dan terowongan. Rentang pergeseran yang kecil cukup digunakan untuk mendeteksi adanya keretakan struktur bangunan dalam ukuran yang relatif kecil tetapi untuk mendeteksi pergeseran pada jembatan dan terowongan dibutuhkan rentang pergeseran yang besar.



Gambar 2.3 Skema serat optik SMS sebagai sensor regangan ( Hatta dkk, 2013)

Sensor optik SMS sebagai sensor regangan disebabkan serat optik SMS mengalami tarikan sehingga menyebabkan terjadinya pergeseran fisik. Pergeseran fisik yang terjadi pada sensor akan menyebabkan serat optik mengalami perubahan panjang, perubahan diameter *core* dan *cladding*. Perubahan diameter *core* dan *cladding* dalam serat optik akan mempengaruhi pola rambat cahaya serta mengakibatkan terjadinya pelemahan daya optik pada sensor SMS ( Hatta dkk, 2009 ).



Gambar 2.4 Hubungan regangan terhadap rugi daya (Hatta dkk, 2013 )

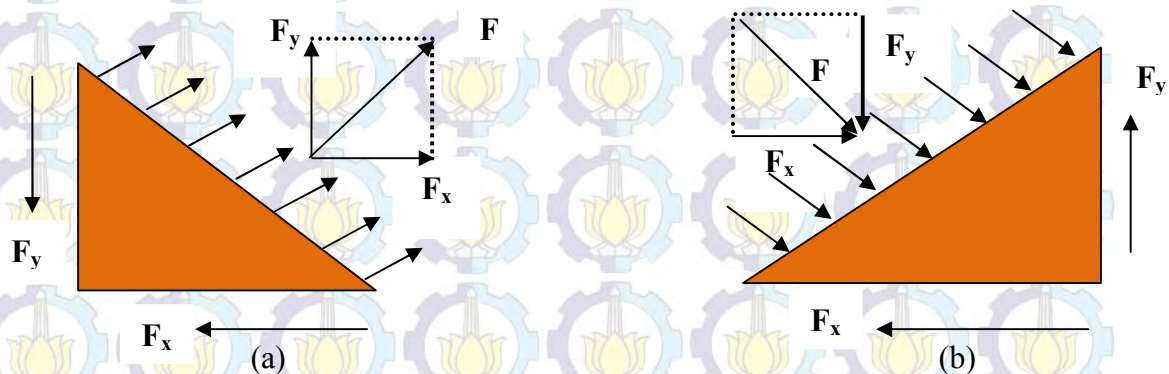


## 2.2 Regangan dan pergeseran.

Regangan dan pergeseran terjadi akibat adanya gaya luar yang bekerja mempengaruhi kondisi awal dari suatu bahan. Pemberian pergeseran pada suatu bahan (serat optik SMS) berarti juga memberikan regangan  $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$ , dimana  $\Delta L$  adalah pemberian pergeseran dan  $L_0$  adalah panjang mula-mula. Ketika kondisi regangan ( $\varepsilon$ ) yang sama, dan dengan panjang mula-mula  $L_0$  yang sama, maka nilai perubahan panjang  $\Delta L$  akan berbeda jika diberi sudut pergeseran.

### 2.2.1 Regangan dan kompresi

Regangan akibat tarikan dapat memberikan pertambahan panjang suatu bahan dari kondisi mula-mulanya. Sementara regangan akibat kompresi akan mengakibatkan terjadinya pengurangan panjang suatu bahan dari kondisi mula-mula. Kompresi pada suatu bahan dapat artikan dengan peristiwa berkurangnya panjang dari suatu bahan akibat pemberian gaya. Arah gaya yang bekerja ketika benda mengalami regangan akibat tarikan dan kompresi dapat dilihat pada Gambar 2.5 (a) dan (b)



Gambar 2.5 (a) Regangan pengaruh tarikan. (b) Regangan pengaruh kompresi.

### 2.2.2 Regangan pada posisi lurus.

Regangan dapat diartikan sebagai terjadinya perubahan relatif dimensi dari suatu bahan akibat mengalami tegangan (Zemansky, 1992). Apabila suatu bahan mendapat regangan maka bahan tersebut akan mengalami perubahan (deformasi). Regangan dapat terjadi karena tarikan atau kompresi. Bahan yang mendapat



regangan karena tarikan atau kompresi akan menimbulkan pergeseran. Besarnya regangan akibat tarikan pada arah dan posisi yang lurus dapat dilihat pada Gambar 2.6. Ketika bahan berada pada posisi yang lurus maka besarnya strain dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.1)

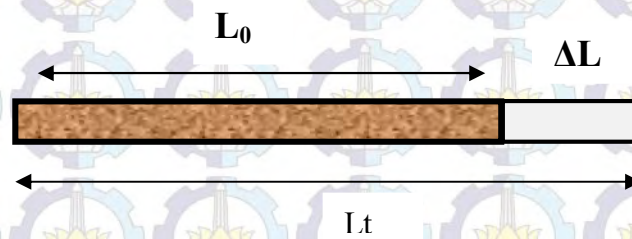
$$\epsilon = \frac{L_t - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (21)$$

Dimana

$\epsilon$  = Regangan.

$L_0$  = panjang mula-mula

$L_t$  = panjang saat mengalami regangan

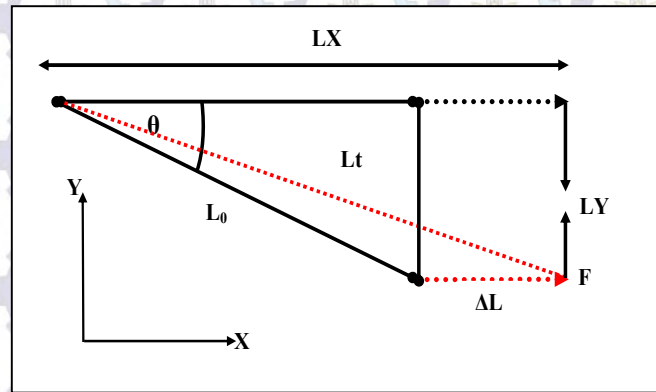


Gambar 2.6 Regangan pada posisi lurus.

### 2.2.3 Regangan pada posisi miring

Besarnya regangan yang dialami oleh suatu bahan ketika berada pada posisi miring akan berbeda dengan bahan saat berada pada posisi lurus. Regangan yang dialami suatu bahan ketika berada pada posisi miring lebih kecil jika dibandingkan terhadap bahan yang berada pada posisi yang lurus. Sehingga besar atau kecilnya regangan yang diterima bahan bergantung pada posisi benda ketika mendapat gaya. Pertambahan panjang suatu bahan akibat regangan pada kondisi miring dapat terlihat pada Gambar 2.7. Pertambahan panjang pada suatu bahan akibat regangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.2)





Gambar 2.7 Skema regangan pada posisi miring

$$L_t = \sqrt{(L_0 \cos \theta + \Delta L)^2 + (L_0 \sin \theta)^2} \quad (22)$$

$L_0$  = Panjang mula-mula

$L_t$  = Panjang saat dikenai regangan

$\Delta L$  = Pertambahan panjang

$\theta$  = Kemiringan atau sudut

### 2.3 Regangan pada serat optik berstruktur SMS.

Ketika serat optik berstruktur SMS dikenai regangan  $\epsilon$ , maka akan terjadi perubahan panjang  $\Delta L$  dan perubahan indeks bias ( $\Delta n$ ) pada bagian *singlemode* maupun *multimode*. Perubahan indeks bias dapat ditentukan dengan persamaan (2.3) (Hatta dkk, 2010)

$$\begin{aligned} \Delta n_{(SM \text{ FM } M \text{ FI})} &= -\frac{n_{(SM \text{ FM } M \text{ FI})}^3}{2} [p_{12} - \sigma(p_{11} + p_{12})] \epsilon \\ &= -p_e \epsilon \end{aligned} \quad (2.3)$$

Dimana  $n_i$  merupakan indeks bias *core* dan *cladding* dari serat optik *multimode*,  $p_{11}$  dan  $p_{12}$  adalah koefisien regangan optik untuk *fused silica*,  $p_e$  adalah koefisien regangan optik efektif, dan  $\sigma$  adalah nisbah poisson. Ketika serat optik SMS diberi regangan maka akan terjadi perubahan panjang dan perubahan indeks



bias akan mengakibatkan terjadinya perubahan rugi daya pada serat optik berstruktur SMS. Perubahan rugi daya dapat terjadi akibat adanya pergeseran diantara kedua sambungan serat optik berstruktur SMS menghampiri posisi titik *re-imaging*. Titik *re-imaging* yaitu titik terjadinya interferensi maksimum akibat moda-moda yang terdekomposisi pada sambungan pertama serat optik berstruktur SMS. Semakin jauh dari titik *re-imaging* maka daya optik semakin kecil dan *losses* semakin besar begitu juga sebaliknya semakin dekat dengan titik *re-imaging* daya optik semakin besar dan *losses* yang dialami akan semakin kecil ( Wang dkk, 2008 ).

## **2.4 Sensor**

### **2.4.1 Pengertian Sensor**

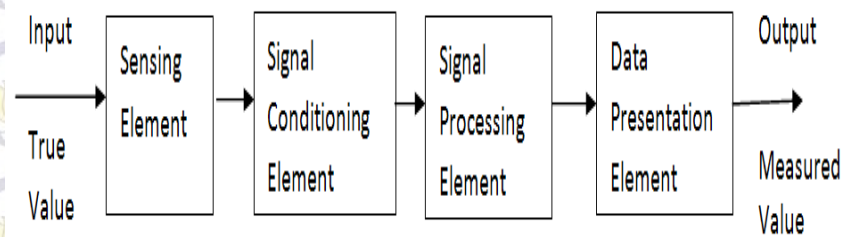
Dari beberapa referensi menjelaskan pengertian sensor adalah sebagai berikut:

1. Sensor merupakan suatu alat yang dapat mendeteksi dan mengukur berbagai besaran- besaran fisis. Sensor dapat juga didefinisikan sebagai divais (alat) yang dapat mengukur besaran fisika dan mengubahnya kesinyal yang dapat dibaca oleh *observer* atau sebuah instrumen. ( Sinclair, 2001 ).
2. Ada 6 besaran fisis yang dapat dirubah seperti besaran mekanik, termal, magnetik, elektrik, kimia, dan radiasi. Pada dasarnya sensor akan mengubah besaran fisis menjadi sinyal elektrik. Alat yang mengubah suatu jenis sinyal ke sinyal lain disebut *transducer*.
- 3 Sensor adalah alat (divais) yang mengubah fenomena fisis ke sinyal elektrik. Dengan demikian sensor merepresentasikan bagian dari *interface* antara dunia fisis dengan dunia peralatan elektrik.

### **2.4.2 Karakteristik Sensor.**

Dalam melakukan pengukuran, pada dasarnya ada empat elemen yang saling terkait di dalamnya, sehingga dengan memperhatikan elemen–elemen tersebut maka nilai pengukuran dapat tercapai dan nilai variabel keluaran dari suatu besaran yang diukur akan dapat teramati oleh pengamat. Keempat elemen pengukuran tersebut dapat dilihat seperti pada Gambar 2.8





Gambar 2.8 Skema elemen sistem pengukuran ( Bentley 2005 )

Adapun karakteristik yang harus diperhatikan dalam melakukan pengukuran adalah sebagai berikut :

1. Ketelitian (*Accuracy*).

Ketelitian pengukuran dapat diartikan sebagai kedekatan nilai pembacaan suatu alat ukur terhadap harga standar yang telah ditetapkan atau padanilai yang sesungguhnya.

2. Ketepatan (*Precision*).

Ketepatan adalah kedekatan nilai suatu pengukuran terhadap harga rata-ratanya. Ketepatan memiliki ukuran yang sama terhadap satuan yang diukur secara berulang-ulang, dengan alat yang sama tetapi tidak dibandingkan dengan nilai baku. Ketepatan (*precision*) yang tinggi belum berarti memiliki ketelitian (*accuracy*) yang tinggi.

3. Kesalahan (*Error*).

Kesalahan adalah terdapatnya sesuatu penyimpangan (*deviation*) yang diukur terhadap nilai besaran yang sebenarnya. Munculnya perbedaan yang terbaca oleh alat ukur dengan nilai yang sebenarnya disebut dengan nilai kesalahan.

Besarnya *error* dapat ditentukan dengan persamaan (2.4)

$$e = \left[ \frac{Y_n - X_m}{Y_n} \right] \times 100\% \quad (24)$$



4. Rentangan (*Span*).

Rentangan merupakan nilai variasi maksimum dan minimum dari suatu pengukuran yang dapat memberikan hasil yang linier seperti variasi input dan output. Bentuk persamaan umum dari rentangan adalah

$$\text{Span output} = O_{\max} - O_{\min}$$

$$\text{Span input} = I_{\max} - I_{\min}$$

5. Linieritas (*Linearity*).

Linieritas didefinisikan sebagai kemampuan untuk dapat menghasilkan karakteristik input secara simetris. Linearitas dinyatakan juga sebagai persentase penyimpangan dari harga yang linier.

6. Resolusi (*Resolution*).

Resolusi merupakan perubahan terkecil yang masih dapat direspon oleh alat ukur, dimana perubahan input dapat memberikan perubahan output terkecil yang masih dapat diukur oleh alat ukur. Dapat didefinisikan juga sebagai perbedaan antara dua besaran input yang menghasilkan perubahan terkecil informasi output.

7. Sensitivitas (*Sensitivity*)

Sensitivitas merupakan perbandingan antara perubahan keluaran (*output*) alat ukur terhadap perubahan masukan (*input*) terkecil. (Fraden, 2003) besarnya sensitivitas dapat ditentukan dengan persamaan (2.5).

$$S = \frac{\Delta \text{output}}{\Delta \text{input}} \quad (25)$$

## 2.5 Serat Optik.

### 2.5.1 Definisi serat optik

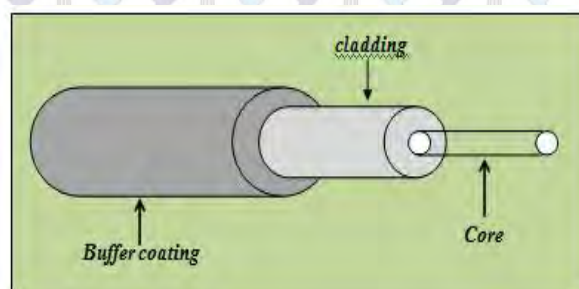
Serat optik merupakan suatu material yang terbuat dari bahan dasar kaca *silica* dengan susunan kimia  $\text{SiO}_2$ . Serat optik dapat mentransmisikan gelombang dengan baik ke arah tujuan sampai pada jarak yang cukup jauh. Saat ini serat optik telah banyak digunakan sebagai alat media komunikasi khususnya dalam bidang jasa telekomunikasi. Serat optik dapat menghantarkan suatu sinyal dengan baik tanpa adanya gangguan muatan listrik sebab serat optik tahan terhadap interferensi gelombang elektromagnetik.



### 2.5.2 Susunan serat optik.

Serat optik pada dasarnya ditutupi oleh lapisan pembalut, dengan tujuan melindungi benturan terhadap benda yang keras agar tidak mudah pecah dan tidak menimbulkan kerusakan serta menjaga agar serat optik agar terhindar dari berbagai macam kotoran yang dapat menghalangi proses perambatan cahaya disepanjang serat optik. Serat optik terdiri atas 3 lapisan seperti yang tampak pada Gambar 2.6 yaitu:

1. Lapisan luar (*Buffer Coating*), yang berfungsi untuk melindungi serat optik dari kondisi eksternal seperti faktor benturan yang dapat menimbulkan kerusakan fisik.
2. Lapisan tengah (*Cladding*) berfungsi sebagai cermin untuk memantulkan cahaya, sehingga cahaya dapat merambatkan sampai ke ujung serat optik dan melindungi inti, memperkecil adanya *scattering loss* serta menambah kekuatan mekanik serat optik.
3. Inti (*core*) berfungsi untuk menentukan arah cahaya yang merambat akibat adanya perbedaan indek bias antara *core* dan *cladding*. Inti (*core*) serat optik terlindungi oleh *cladding* dan *buffer coating* sehingga inti terhindar dari kotoran yang dapat menimbulkan kerusakan pada serat optik. Susunan lapisan yang terdapat pada serat optik dapat dilihat pada Gambar 2.9



Gambar 2.9 Susunan Serat optik.

### 2.5.3 Jenis jenis serat optik.

Serat optik pada dasarnya terbagi atas dua bagian seperti :

1. Serat optik *singlemode*

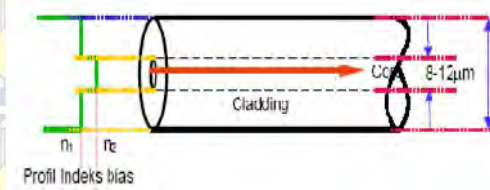


Serat optik *singlemode* memiliki arti cukup luas dalam teknologi serat optik. Dilihat dari faktor properti sistem transmisinya, serat optik *singlemode* adalah sebuah sistem transmisi data berwujud cahaya yang didalamnya terdapat satu buah cahaya yang merambat di sepanjang serat optik tanpa adanya pemantulan. Jika dilihat dari segi strukturalnya maka serat optik *singlemode* merupakan salah satu serat optik yang memiliki inti (*core*) berukuran kecil dengan diameternya berkisar 8 - 12  $\mu\text{m}$ , namun serat optik *singlemode* ini mampu membawa data dengan *bandwidth* yang lebih besar dibandingkan dengan serat optik *multimode*. Serat optik *singlemode* dapat membawa data lebih cepat dan 50 kali lebih jauh dibandingkan dengan serat optik *multimode*. Berdasarkan indeks bias *core* maka serat optik *singlemode* memiliki indeks bias yang homogen.

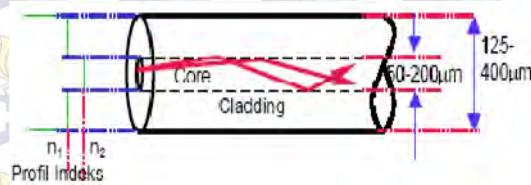
## 2. Serat optik *multimode*

Serat optik *multimode* merupakan teknologi transmisi data dengan memanfaatkan beberapa indeks cahaya yang terdapat di dalamnya. Serat optik *multimode* dapat mentransmisikan cahaya dengan cara melakukan pemantulan berulang-ulang melalui permukaan *cladding* hingga sampai kearah panduan. Serat optik *multimode* dapat menghasilkan 100 moda cahaya, banyaknya moda yang dapat dihasilkan bergantung pada ukuran *core* dan faktor *Numerical Aperture* (NA). Semakin besar *core* dan NA, maka jumlah moda yang dihasilkan juga akan bertambah. Serat optik *multimode* memiliki inti lebih besar dari pada *singlemode*, serat optik *multimode* memiliki diameter inti antara 50 – 100  $\mu\text{m}$ . Serat optik *multimode* dapat mentransmisikan cahaya yang lebih banyak jika dibandingkan dengan serat optik *singlemode*. Berdasarkan indeks bias *core* maka serat optik *multimode* dapat dibagi menjadi *multimode step index* atau yang disebut juga dengan indeks bias *core* homogen dan *multimode graded index*. Serat optik *multimode step index* lebih dikenal dengan indeks bias *core* homogen dan *graded index* lebih disebut juga dengan indeks bias *core* yang semakin dekat dengan arah *cladding* maka semakin kecil perambatan cahaya dalam serat optik. Jenis jenis serat optik ini dapat dilihat pada Gambar 2.10

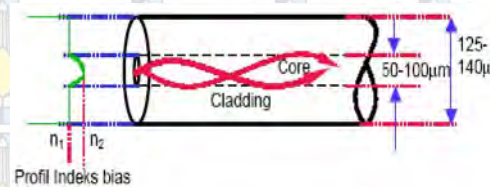




(a)



(b)



(c)

Gambar 2.10 Jenis jenis serat optik :

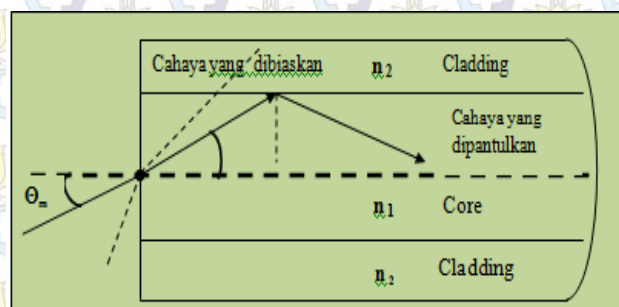
- (a) Serat optik *singlemode step index*
- (b) Serat optik *multimode step index*
- (c) Serat optik *multimode graded index* ( Widyana, 2010)

## 2.6 Perambatan cahaya dalam Serat Optik.

Pada dasarnya cahaya yang merambat dalam serat optik akan mengalami peristiwa pembiasan dan pemantulan. Peristiwa pembiasan pada serat optik akan terjadi apabila cahaya memiliki sudut datang ( $\theta_1$ ) lebih kecil dari sudut kritis ( $\theta_c$ ) atau ( $\theta_1 < \theta_c$ ) maka cahaya akan dibiaskan dan akan keluar dari bahan pertama. Besarnya sudut kritis dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.6) Namun sebaliknya apabila cahaya yang merambat memiliki sudut datang ( $\theta_1$ ) lebih besar dari sudut kritis ( $\theta_c$ ) atau ( $\theta_1 > \theta_c$ ) maka akan terjadi peristiwa pemantulan sempurna. Peristiwa pemantulan sempurna sangat diharapkan untuk merambatkan cahaya kedalam serat optik. Pemantulan sempurna dapat menciptakan proses pemantulan yang berulang-ulang disepanjang serat optik.



Agar terjadi proses pemantulan sempurna disepanjang serat optik maka cahaya yang merambat dalam serat optik hendaknya memiliki sudut datang lebih besar dari pada sudut kritis namun sudut datang lebih kecil dari sudut  $90^\circ$ . Proses perambatan cahaya dalam serat optik dapat dilihat pada Gambar 2.11. Cahaya yang merambat dalam serat optik berawal dari medium rapat ke medium yang kurang rapat atau berawal dari medium yang berindeks bias besar ke medium yang berindeks bias kecil ( $n_1 > n_2$ ). (Crips, 2001)



Gambar 2.11 Skema perambatan cahaya dalam serat optik

Untuk menentukan besarnya sudut kritis dalam suatu bahan dapat ditentukan dengan persamaan (2.6)

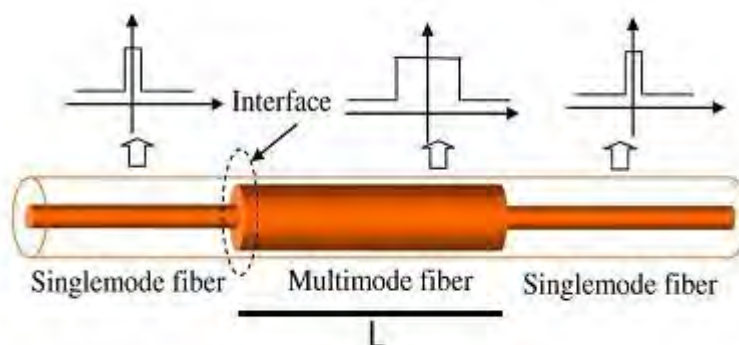
$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \text{ atau } \theta_c = \sin^{-1} \left[ \frac{n_2}{n_1} \right] \quad (26)$$



## 2.7 Serat optik berstruktur SMS

Serat optik berstruktur SMS merupakan jenis serat optik yang terdiri atas serat optik *singlemode* dan *multimode* yang disambung secara *axial*. Sensor serat optik SMS memiliki konstruksi yang sederhana dan dapat difabrikasi dengan cara menyambungkan serat optik *singlemode* pada kedua sisi serat optik *multimode*, dengan menggunakan alat penyambung *fusion splicer*. Penyambungan yang diharapkan mesti berada pada posisi yang *alignment* sehingga tidak ada cahaya yang keluar dari hasil *splicing* kedua jenis serat optik tersebut. Hasil penyambungan kedua jenis serat optik *singlemode* dan *multimode* akan menjadi serat optik berstruktur SMS yang dapat dimanfaatkan sebagai sensor pergeseran seperti yang tampak pada Gambar 2. 12.

Penyambungan serat optik berstruktur SMS terjadi dibagian *fundamental mode* dan ter-*couple* pada *input* dan *output* ujung serat optik *multimode*. Keadaan ini akan terjadi ketika *spot size* dari *fundamental mode* dan serat optik *singlemode* dan *multimode* benar-benar tidak terdapat *misalignment* saat melakukan penyambungan. Apabila keadaan tersebut tidak terpenuhi maka *high order mode* dari serat optik *multimode* akan tereksitasi dan ter-*couple* keluar melalui kedua sisi masukan atau keluaran serat optik *multimode*. Ketika serat optik *multimode* mengalami peristiwa *propagation constant* maka terjadi pembentukan moda - moda dengan pola yang hampir sama dan daya yang ter-*couple* pada serat optik *singlemode* akan menjadi lebih sensitif. Kinerja atau performansi serat optik berstruktur SMS sangat bergantung pada panjang gelombang operasi dan juga panjang serat optik *multimode* yang digunakan ( Kumar dkk, 2003 ).



Gambar 2.12 Skema Serat optik berstruktur SMS ( Wang dkk, 2008 ).



## 2.8 Pengaruh Multimode Interference (MMI) pada serat optik SMS

Ketika terjadi eksitasi cahaya dalam serat optik *multimode* pada *wave guide* maka akan terjadi suatu efek antara cahaya masuk dengan moda - moda cahaya yang terdapat didalam *multimode waveguide*. Efek ini akan mengakibatkan terjadinya interferensi gelombang. Interferensi akan terjadi ketika ada superposisi antara dua atau lebih sumber cahaya koheren dengan beda fase yang sama. *Light input* akan menyebabkan terjadinya eksitasi moda moda pada *multimode wave guide* yang berasal dari *singlemode waveguide*. Moda-moda pada serat optik *multimode* akan tereksitasi oleh sinyal optik yang berasal dari serat optik *singlemode*. Hal inilah yang menyebabkan awal terbentuk peristiwa *multimode inteference* (MMI) dalam serat optik ( Hatta, 2009 ). Peristiwa MMI dapat diimplementasikan untuk sensor optik berstruktur *singlemode- multimode singlemode* (SMS). Saat ini peristiwa MMI banyak dimanfaatkan untuk aplikasi berbagai divais optik. Posisi *multimode waveguide* serat optik berstruktur SMS terletak diantara *input* dan *output singlemode waveguide* seperti yang tampak pada Gambar 2.13



Gambar 2.13 Skema *multimode waveguide* serat optik SMS ( Hatta, 2009 ).

MMI pada serat optik SMS ini terjadi dibagian *multimode*. Serat optik SMS terdiri atas dua pemandu gelombang *singlemode* (serat optik *singlemode*) dan satu pemandu gelombang *multimode* (serat optik *multimode* ). Moda – moda dalam serat optik *multimode* akan tereksitasi oleh sinyal optik yang berasal dari serat optik *singlemode*. Banyaknya moda yang tereksitasi dalam serat optik multimode dapat ditentukan dengan persamaan ( 2.7 ). ( Jianfeng dkk, 2011)



$$m = \frac{v}{\pi}, \text{ dimana } v = \frac{2\pi}{\lambda} a \sqrt{n_{core}^2 - n_{cladding}^2}$$

$$\text{Jumlah eksitasi moda } m = \frac{2a}{\lambda} \sqrt{n_{core}^2 - n_{cladding}^2} \quad (27)$$

Peristiwa MMI dapat membangkitkan terjadinya interferensi maksimum dan interferensi minimum. Interferensi maksimum terjadi bila beda fase antar moda-moda cahaya yang mengalami superposisi memiliki selisih  $2\pi$ . Sementara interferensi minimum saat selisih beda fasenya merupakan kelipatan ganjil dari  $2\pi$ . Pada saat terjadi interferensi maksimum, maka rugi daya yang terjadi pada serat optik SMS sangat kecil dan begitu juga sebaliknya jika terjadi interferensi minimum maka rugi daya akan semakin besar. Peristiwa interferensi maksimum disebut juga dengan peristiwa *self-imaging*. Peristiwa *self-imaging* terjadi secara periodik pada jarak tertentu sesuai dengan spesifikasi bagian *multimode* yang digunakan dalam serat optik SMS. Jarak antar *self-imaging* ini disebut dengan jarak *re-imaging*. Jarak *re-imaging* bergantung pada panjang gelombang yang digunakan (Mehta dkk, 2003). Keberadaan posisi titik *re-imaging* dalam serat optik SMS *multimode graded index* dapat diturunkan dari beberapa persamaan dibawah ini (Kumar dkk, 2003). *Splicing* antara kedua serat optik akan membentuk *Fundamental mode* dibahagian serat optik *singlemode* sehingga daya yang ter *couple* pada *guided mode* serat optik *singlemode step index* dapat ditentukan dengan pendekatan integral yang *overlap*, seperti persamaan (2.8)

$$\psi_s(r) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{1}{w_s} e^{(-r^2/w_s^2)} \quad (2.8)$$

Dimana  $w_s$  merupakan *Gaussian spot size, mode* pada serat optik *step index*, dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.9) :

$$\frac{w_s}{a_s} = \left[ 0.65 + \frac{1619}{V_s^{3/2}} + \frac{2879}{V_s^6} \right]; 0.8 \leq V_s \leq 2.5 \quad (2.9)$$



Apabila inti serat optik *multimode* dianggap menyerupai *parabolic core* maka profil indeks bias dapat ditentukan dengan persamaan ( 2. 10 ) :

$$n(r) = \begin{cases} n_0 \left[ 1 - 2\Delta_M \frac{r^2}{a_m^2} \right]^{1/2} ; r \leq a_m \\ n_0 [1 - 2\Delta_M]^{1/2} ; r \geq a_m \end{cases} \quad (2.10)$$

dimana

$$\Delta_M = \frac{n_o^2 - n_{cl}^2}{2n_o^2} \quad (211)$$

Dimana  $n_0$  dan  $n_{cl}$  adalah indeks bias *core* dan *cladding*. Sedangkan  $a_m$  dan  $\Delta_M$  menunjukkan *core radius* dan selisih relatif indeks bias *core-cladding* dari serat optik multimode. Ketika serat optik *singlemode* ter-couple pada bahagian *circular symmetric mode* serat optik *multimode* maka moda – moda yang terdapat disepanjang multimode dapat ditentukan dengan persamaan ( 2.12)

$$\psi_m(r) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{1}{w_M} L_m \left( \frac{2r^2}{w_M^2} \right) e^{\left( -r^2/w_M^2 \right)} \quad (2.12)$$

Dimana  $L_m(r)$  merupakan derajat *polynomial*  $m$  Laguerre dan  $w_M$  menunjukkan *Gaussian spot size* dari *fundamental mode*. dimana nilai  $w_M$  dapat ditentukan dengan persamaan (2.13)

$$w_M = \left[ \frac{2a_M}{k_0 n_0 \sqrt{2\Delta_M}} \right]^{1/2} = a_M = \sqrt{\frac{2}{V_M}} \quad (2.13)$$

Pada persamaan diatas  $V_m$  merupakan *V-number* dari serat optik *multimode* dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan ( 2.14 )

$$V = \left\{ \frac{2\pi}{\lambda} \right\} a \sqrt{n_{co}^2 - n_{cl}^2} . \quad (2.14)$$



Besarnya *propagation constants* pada *symmetric mode* dapat ditentukan dengan persamaan ( 2.15 ) :

$$\beta_m = k_0 n_0 \left[ 1 - \frac{2(2m+1)\alpha_M}{k_0^2 n_0^2} \right]^{1/2} ; m = 0, 1, 2, \dots \quad (2.15)$$

Dimana

$$\alpha_M = \frac{k_0 n_0}{a_M} \sqrt{2\Delta_M} = V_m / a_M^2 = 2 / w_M^2 \quad (2.16)$$

Ketika daerah sambungan *input* awal serat optik *multimode*  $z = 0$ , sehingga medan total yang terdapat pada serat optik *multimode*  $\psi(z = 0)$  dapat ditentukan dengan persamaan ( 2.17 )

$$\psi(z = 0) = \psi_s = \sum A_m \psi_m(r) \quad (2.17)$$

Dimana amplitudo mode ( $A_m$ ) dapat dicari dengan menggunakan persamaan ( 2.18 )

$$A_m = \frac{\int_0^\infty \psi_s \psi_m^* r dr}{\int_0^\infty |\psi_m|^2 r dr} = \frac{2\mu}{(1+\mu^2)} \left( \frac{1-\mu^2}{1+\mu^2} \right)^m \quad (2.18)$$

Dimana  $\mu = w_s / w_M$ . Karena adanya perbedaan perambatan gelombang pandu pada *propagation constant* maka medan total  $\psi$  yang terdapat diujung serat optik *multimode* sepanjang  $L$  dapat ditentukan dengan persamaan (2.19 )

$$\psi(z = L) = \sum A_m \psi_m e^{-i\beta_m L} \quad (2.19)$$

Pada *splice* yang kedua, daya dapat ter-*couple* dari berbagai moda moda. Daya ( $P_{SM}$ ) yang ter-*couple* pada *ouput* serat optik dapat ditentukan dengan persamaan (2.20)

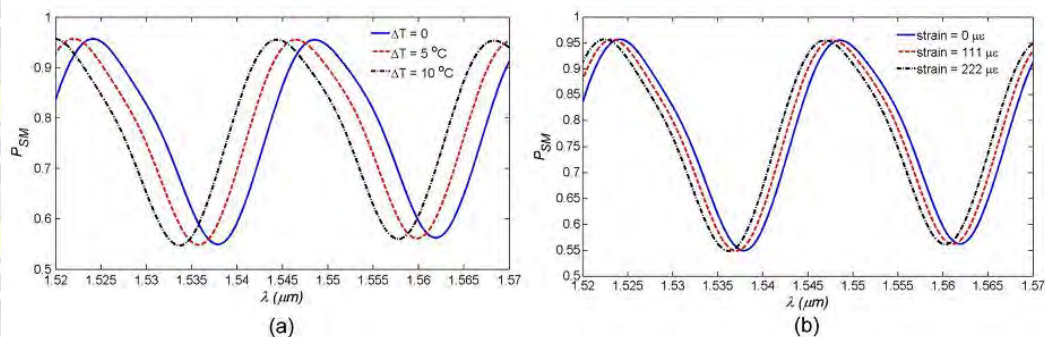
$$P_{SM} = \left| \int_0^\infty \psi_s^* \psi(z = L) r dr \right|^2$$

$$P_{SM} = \left| A_0^2 + A_1^2 e^{i(\beta_0 - \beta_1)L} + A_2^2 e^{i(\beta_0 - \beta_2)L} + \dots \right|^2 \quad (2.20)$$

Daya ( $P_{SM}$ ) yang keluar akan bervariasi jika panjang gelombang ( $\lambda$ ) dan panjang serat optik multimode ( $L$ ) yang digunakan..



Posisi *re-imaging* pada serat optik berstruktur SMS dipengaruhi oleh faktor internal dan eksternal, seperti panjang serat optik multimode yang digunakan dan panjang gelombang sinar laser yang dirambatkan kedalam serat optik berstruktur SMS. Sementara untuk faktor eksternal seperti pengaruh strain, temperatur, hal ini akan mempengaruhi indeks bias yang terdapat dalam serat optik berstruktur SMS. Perubahan indeks bias dalam serat optik berstruktur SMS akan mengakibatkan terjadinya pergeseran posisi *self-imaging* yang terdapat dalam serat optik multimode (Tripathi dkk, 2009). Pengaruh temperatur dan regangan dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2. 14 (a) Spektrum daya keluaran akibat temperatur

(b) Spektrum daya keluaran akibat regangan (Tripathi dkk, 2009 )

Pada Gambar 2.14 (a) Temperatur yang tinggi akan menyebabkan daya keluaran yang terukur semakin besar. Ketika panjang gelombang 1545 nm terlihat adanya perubahan yang signifikan, hal ini terjadi akibat pemberian temperatur yang bervariasi. Sementara pada Gambar 2.14 (b) pemberian regangan yang bervariasi akan mengakibatkan daya keluaran menjadi berubah-ubah sehingga membentuk pola sinusoidal. Hal ini disebabkan adanya perioda dari titik-titik *re-imaging* yang terdapat dalam serat optik berstruktur SMS.



## 2.9 Estimasi rugi daya pada serat optik berstruktur SMS

Untuk mengestimasi besarnya rugi daya pada serat optik berstruktur SMS ketika mengalami pergeseran dengan kemiringan yang lebih besar yaitu  $\theta = 25^\circ$  dan  $30^\circ$  dapat diestimasi dengan menggunakan regresi linier. Regresi linier sering digunakan untuk memprediksi situasi didalam industri seperti kelajuan aliran dan temperatur. Dalam dunia industri metoda regresi linier dapat dimanfaatkan untuk mengestimasi volume bak (*level*) dan lain sebagainya. Pada kasus ini regresi linier digunakan untuk mengestimasi besarnya rugi daya pada sensor optik SMS. Estimasi rugi daya yang terjadi pada sensor SMS akan dilakukan untuk sudut  $\theta = 0^\circ$  sampai pada sudut  $\theta = 30^\circ$ . Pada eksperimen ini rugi daya yang terukur oleh *optical power meter*, yaitu pergeseran dengan konfigurasi sudut  $\theta = 0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ$  dan  $20^\circ$ . Namun rugi daya serat optik SMS pada sudut sudut yang lain, akan ditentukan dengan estimasi menggunakan metode regresi linier seperti yang tampak pada persamaan ( 2.21) (Walpole 2011)

$$SSE = \sum_{i=1}^n ei^2 = \sum_{i=1}^n (yi - \hat{yi})^2 = \sum_{i=1}^n (yi - bo - b1xi)^2 \quad (2.21)$$

Dimana  $b1$  dapat ditentukan dengan persamaaan ( 2. 22 ) dan  $bo$  dengan persamaan ( 2. 23 )

$$b1 = \frac{n \sum_{i=1}^n xi yi - \left( \sum_{i=1}^n xi \right) \left( \sum_{i=1}^n yi \right)}{n \sum_{i=1}^n xi^2 - \left( \sum_{i=1}^n xi \right)^2} = \frac{\sum_{i=1}^n (x1-xr)(y1-yr) + (x2-xr)(y2-yr) + \dots + (xn-xr)(yn-yr)}{\sum_{i=1}^n (xi-xr)^2 + (x2-xr)^2 + \dots + (xn-xr)^2} \quad (2.22)$$

$$bo = \frac{\sum_{i=1}^n yi - b1 \sum_{i=1}^n xi}{n} = yr - b1xr \quad (2.23)$$





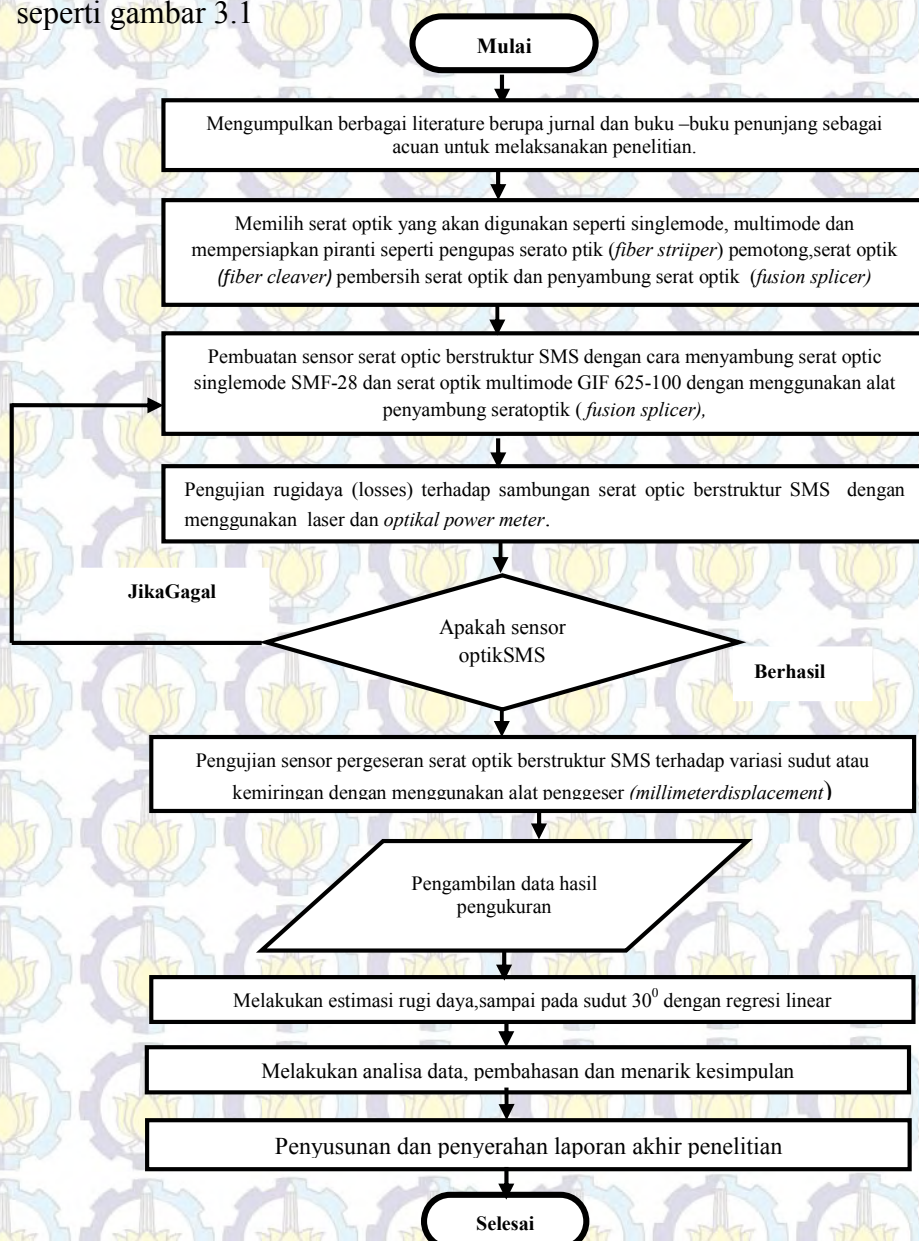


## BAB 3

# METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram alir penelitian

Dalam bab ini menjelaskan langkah kerja dan proses pembuatan sensor serat optik sebagai sensor pergeseran. Langkah yang dilakukan sebagai berikut seperti gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian



### 3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam melakukan penelitian ini diantaranya: alat pengupas serat optik (*fiber stripper*) jenis *cromwell ct USA* berfungsi untuk mengupas jaket serat optik (*buffer coating*). Alat pemotong serat optik (*fiber cleaver*) jenis *FITEL Nc S324* berfungsi untuk memotong serat optik sehingga diperoleh hasil potongan yang peresisi. Alat penyambung seratoptik digunakan (*fusion splicer*) jenis *Fujikura FSM 505* yang berfungsi untuk menyambung serat optik *singlemode* pada bagian sisi *multimode* sehingga membentuk serat optik berstruktur SMS. Alat ukur pergeseran (*millimeter displacement*) berfungsi untuk mengetahui jauhnya jarak pergeseran serat optik berstruktur SMS kearah posisi sumbu horizontal. Sumber cahaya digunakan Laser tipe OLS 35, berfungsi untuk merambatkan cahaya kedalam serat optik. Detektor digunakan *optical powermeter* tipe JDSU OPL 38 yang berfungsi sebagai alat ukur rugi daya terdapat dalam serat optik. Bahan yang digunakan diantaranya: serat optik *singlemode* SMF 28 *step index* dengan diameter *core* 8,3  $\mu\text{m}$  dan *cladding* 100  $\mu\text{m}$ , *multimode graded index* dengan diameter *core* 62,5  $\mu\text{m}$  dan *cladding* 100  $\mu\text{m}$ , akrilik dan bahan perekat.

### 3.3 Perancangan sensor optik SMS.

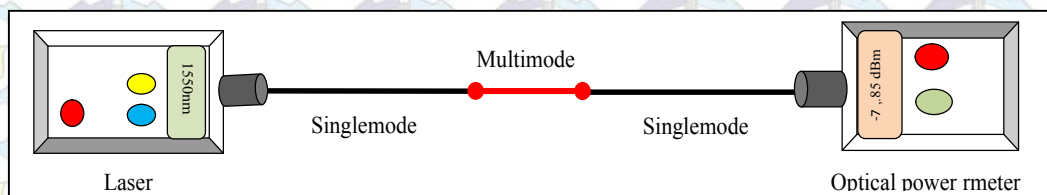
Ketika merancang sebuah sensor optik SMS maka terlebih dahulu dilakukan pemilihan jenis serat optik yang sesuai untuk dijadikan sensor pergeseran serat optik berstruktur SMS. Jenis serat optik yang digunakan berupa serat optik *singlemode* jenis *step index* SMF- 28 dengan diameter *core* 8,3  $\mu\text{m}$  dan serat optik *multimode* jenis GIF 625-100 dengan diameter *core* 62,5  $\mu\text{m}$ . Panjang *multimode* yang digunakan dalam eksperimen ini adalah 4, 6, 8 dan 10 cm pemilihan panjang *multimode* ini adalah untuk kemudahan saat proses penyambungan sensor optik berstruktur SMS. Langkah awal dalam membuat sensor optik berstruktur SMS adalah dengan cara mengupas kedua jenis serat optik *singlemode* dan *multimode* dengan alat pengupas (*fiber Stripper*) kemudian bersihkan dengan tisu yang telah diberi larutan alkohol hingga tidak terdapat sisa-sisa kotoran yang melekat pada



serat optik. Kedua serat optik yang telah dibersihkan lalu dipotong, untuk mendapatkan hasil pemotongan yang peresisi maka digunakan alat pemotong serat optik (*fiber cleaver*). Hasil potongan kedua serat optik *singlemode* kemudian disambungkan pada kedua ujung serat optik *multimode*. Untuk menyambung kedua serat optik, digunakan alat penyambung serat optik (*fusion splicer*). Hasil penyambungan serat optik struktur *singlemode* dan *multimode* akan digunakan sebagai sensor pergeseran serat optik berstruktur SMS

### 3.4 Pengujian rugi daya terhadap sambungan serat optik SMS

Sebelum sensor optik SMS digunakan sebagai sensor pergeseran maka terlebih dahulu dilakukan pengujian rugi daya (*losses*) terhadap sambungan serat optik SMS. Penyambungan serat optik akan menimbulkan rugi daya yang bervariasi. Tujuan pengujian pada sambungan serat optik SMS adalah untuk membatasi besarnya nilai rugi daya yang terdapat dalam serat optik. Apabila hasil penyambungan serat optik SMS menimbulkan rugi daya yang besar maka hasil penyambungan ini tidak digunakan untuk bahan sensor optik. Penyambungan serat optik hendaklah memiliki rugidaya yang sekecil mungkin. Dalam penelitian ini, sambungan serat optik yang memiliki *losses* yang relatif besar tidak digunakan untuk bahan pembuatan sensor optik SMS. Besarnya rugi daya akibat sambungan di dalam serat optik dapat diuji dengan menggunakan laser dan *optical power meter* seperti pada gambar 3.2

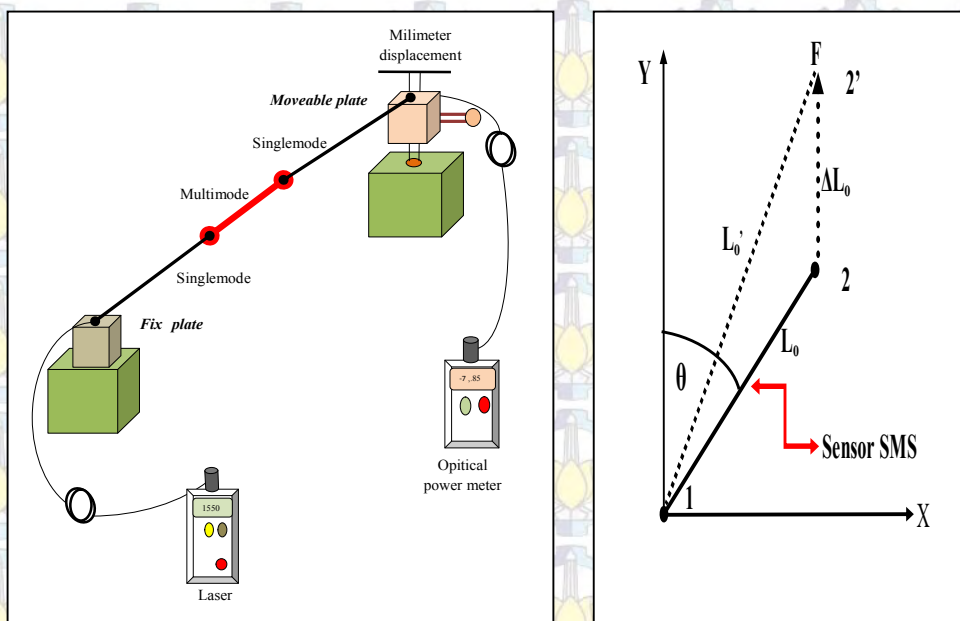


**Gambar 3.2** Pengujian sambungan serat optik SMS



### 3.5 Pengujian serat optik SMS sebagai sensor pergeseran

Serat optik berstruktur SMS diletakan pada besi penahan (*holder*) dan satu sisi lainnya diletakan pada alat penggeser (*milimeter displacement*), agar sensor optik tetap berada dalam kondisi yang statik maka kedua ujung serat optik *singlemode* diberi bahan perekat. Kedua ujung serat optik *singlemode* dihubungkan dengan sumber cahaya berupa laser dan *optical power meter*. Dalam penelitian ini laser yang digunakan memiliki panjang gelombang ( $\lambda$ ) 1310 nm dan 1550 nm. Pergeseran yang dilakukan terhadap sensor optik SMS dengan kenaikan 1 mm setiap pergeseran. Pergeseran ini dilakukan dengan menggunakan *milimeter displacement*. Pemberian sudut atau kemiringan pada sumbu sensor akan dibuat dengan konfigurasi sudut  $0^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $15^\circ$  dan  $20^\circ$ . Susunan alat uji sensor pergeseran serat optik berstruktur SMS dapat dilihat pada Gambar 3.3 (a). Pergeseran sensor terjadi akibat adanya gaya berupa tarikan dari *mili meter displacement*. Tarikan akan mengakibatkan terjadinya perubahan fisis terhadap sensor. Set up alat dan skema pergeseran sensor akibat tarikan dapat dilihat pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 (a) Set up peralatan sensor pergeseran SMS  
(b) Skema pergeseran akibat tarikan



Pergeseran fisis akan mengakibatkan terjadinya regangan pada sensor. Pergeseran pada sensor SMS akan memperbesar regangan yang ada pada sensor serat optik hal ini menimbulkan perubahan *core* dan *cladding*. Perubahan *core* dan *cladding* akan mempengaruhi polarambat cahaya didalam serat optik. Ketika sensor optik mengalami pergeseran maka ukuran *core* dan *cladding* akan semakin kecil dan daya optik yang dihasilkan semakin lemah akibat terjadinya rugi daya disepanjang serat optik SMS.







## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN.

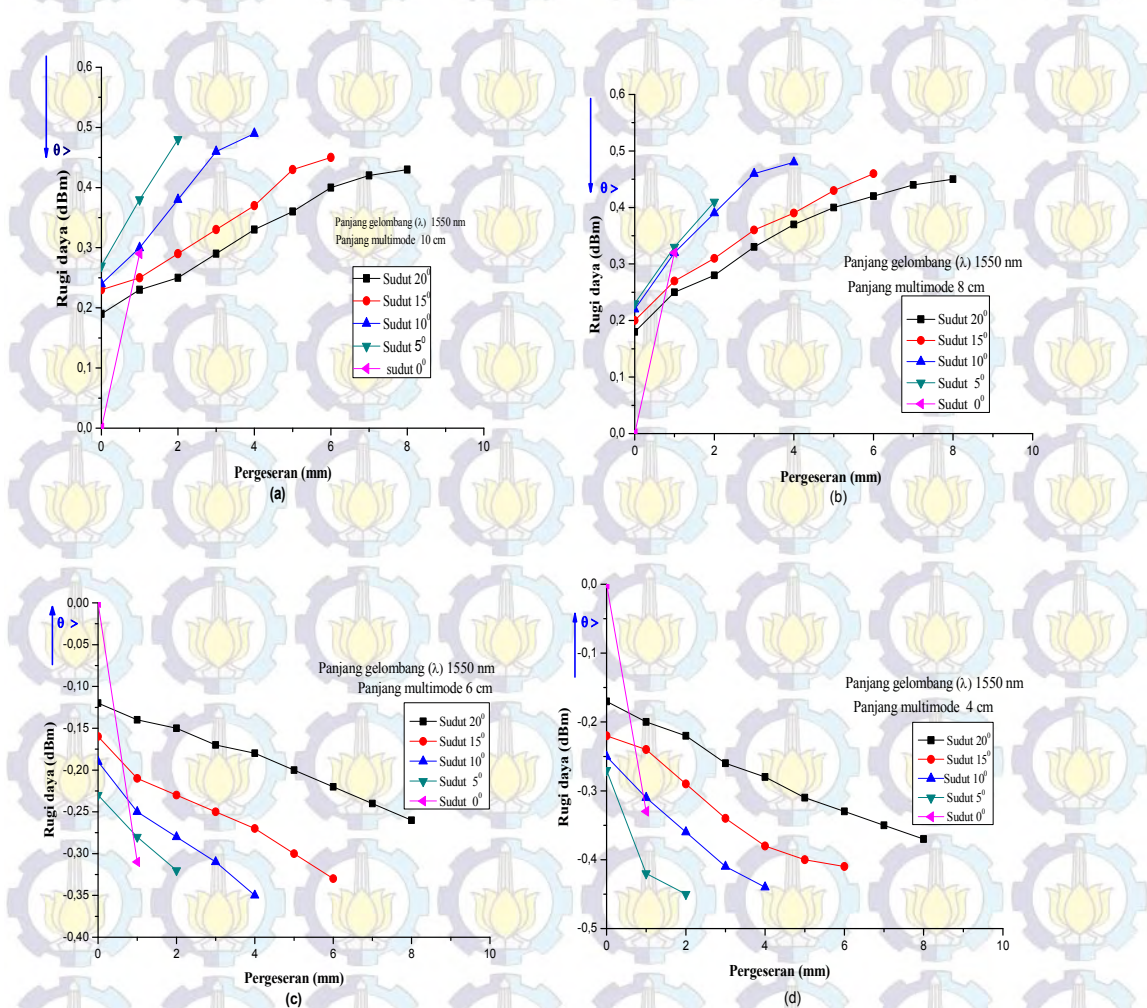
#### 4.1 Hasil uji sensor pergeseran menggunakan laser panjang gelombang 1550 nm.

Pada bab ini akan dijelaskan seluruh hasil yang diperoleh dari eksperimen sensor pergeseran serat optik berstruktur SMS. Ketika merancang sebuah sensor pergeseran serat optik berstruktur SMS, ada beberapa bagian yang perlu diperhatikan seperti penggunaan panjang serat optik *multimode*, diameter kedua jenis serat optik yang digunakan oleh sensor serta kualitas hasil penyambungan (*splicing*) dari kedua serat optik. Ketika dilakukan uji pergeseran terhadap sensor serat optik berstruktur SMS, sumbu sensor diarahkan membentuk sudut atau kemiringan dengan konfigurasi sudut yang bervariasi diantaranya :  $\theta = 20^\circ$ ,  $\theta = 15^\circ$ ,  $\theta = 10^\circ$ ,  $\theta = 5^\circ$  dan  $\theta = 0^\circ$ . Panjang serat optik *multimode* yang digunakan pada sensor SMS diantaranya 4, 6, 8 dan 10 cm. Pemilihan ukuran panjang serat optik *multimode* yang digunakan pada sensor tersebut adalah untuk mempermudah proses penyambungan ( Hatta dkk, 2013). Dalam eksperimen ini jenis dan ukuran diameter serat optik yang digunakan adalah jenis GIF 625-100 dengan diameter inti 62,5  $\mu\text{m}$ . Serat optik *singlemode* digunakan jenis SMF 28 dengan diameter inti 8,3  $\mu\text{m}$  dan sinar laser dengan panjang gelombang 1550 nm.

Mengacu pada penelitian sebelumnya ( Harald dkk, 2005 ), pemberian sudut atau kemiringan terhadap sumbu sensor dapat memperpanjang rentang pergeseran namun akan menyebabkan sensor menjadi kurang sensitif. Dalam eksperimen ini ketika sumbu sensor diberi sudut yang besar ( $\theta = 20^\circ$ ), memberikan hasil rentang pergeseran yang relatif panjang ( 0 – 8 mm). Rentang pergeseran yang diperoleh lebih baik dari pada penelitian – penelitian sebelumnya. Pada penelitian sebelumnya, (Prelle dkk, 2006) telah membuat eksperimen sensor pergeseran rentang panjang (*long range*) hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut masih berada dalam rentang yang relatif kecil (0 – 5mm ). Penelitian berikutnya (Binu dkk, 2007) telah membuat sensor pergeseran serat optik, dimana rentang



pergeseran yang diperoleh 0 – 5, 9 mm. Penelitian berikutnya (Hatta dkk, 2013) telah membuat sensor strain dengan melakukan pergeseran tanpa sudut ( $\theta = 0^\circ$ ) dari penelitian tersebut diperoleh rentang pergeseran yang relatif kecil (0 – 1 mm) namun keunggulan dari sensor tersebut memiliki sensitivitas yang cukup baik. Pada penelitian terkini diperoleh rentang pergeseran yang lebih baik dari pada penelitian sebelumnya. Adapun rentang pergeseran dari masing-masing sensor dapat dilihat pada Gambar 4.1 (a), (b), (c) dan (d)



Gambar 4.1 Grafik hubungan pergeseran terhadap rugi daya dengan laser panjang gelombang 1550 nm.

- (a) Sensor SMS menggunakan panjang serat optik *multimode* 10 cm.
- (b) Sensor SMS menggunakan panjang serat optik *multimode* 8 cm.
- (c) Sensor SMS menggunakan panjang serat optik *multimode* 6 cm.
- (d) Sensor SMS menggunakan panjang serat optik *multimode* 4 cm.



Pada Gambar 4.1 (a) dan (b) grafik sensor SMS dengan panjang serat optik multimode 10 dan 8 cm memiliki pola *slope* positif. Rentang pergeseran yang dicapai sejauh ( 0 – 8 mm), jika diamati dari penelitian sebelumnya maka hasil penelitian ini telah menunjukkan adanya peningkatan rentang pergeseran yang lebih baik dari pada penelitian sebelumnya.

Rentang pergeseran yang besar sebenarnya terjadi akibat pengaruh kemiringan atau sudut terhadap sumbu sensor. Pemberian sudut atau kemiringan terhadap sumbu sensor bertujuan untuk memperkecil regangan yang diterima oleh sensor optik. Regangan pada sensor optik terjadi akibat adanya tarikan, ketika sensor SMS diberi *input* berupa tarikan dengan menggunakan *mili meter displacement*, terlihat bahwa rentang pergeseran yang dicapai cukup bervariasi. Pada sudut  $\theta = 20^0$  rentang pergeseran yang dicapai lebih besar jika dibandingkan terhadap sudut - sudut yang lainnya. Ketika diberi sudut  $\theta = 20^0$  sensor memberikan rentang pergeseran yang cukup signifikan bila dibandingkan terhadap sensor yang bergeser lurus ( $\theta = 0^0$ ). Besarnya rentang pergeseran yang diperoleh dari masing-masing sudut adalah sebagai berikut:  $\theta = 20^0$  mencapai rentang pergeseran sejauh 0 – 8 mm,  $\theta = 15^0$  mencapai rentang 0 – 6 mm,  $\theta = 10^0$  memberikan rentang pergeseran 0 – 4 mm dan  $\theta = 5^0$  mencapai rentang 0 – 2 mm dan  $\theta = 0^0$  memiliki rentang pergeseran yang terkecil antara 0 – 1 mm. Hal ini membuktikan bahwa pemberian sudut atau kemiringan terhadap sumbu sensor akan mempengaruhi rentang pergeseran. Ketika sensor optik mengalami pergeseran pada sudut yang berbeda namun diberi *input* dan perlakuan yang sama berupa tarikan sejauh 1 mm dengan menggunakan *mili meter displacement* maka regangan yang dialami sensor optik cukup berbeda, hal ini menunjukkan bahwa pemberian sudut atau kemiringan terhadap sumbu sensor memberikan efek regangan pada sensor optik. Sensor optik yang bergeser lurus akan mengalami regangan lebih besar jika dibandingkan terhadap sensor yang bergeser membentuk sudut. Ketika sensor bergeser membentuk sudut yang besar maka memberikan pengaruh regangan yang kecil terhadap sensor. Ketika sensor SMS mengalami regangan yang kecil, maka sensor dapat bergeser pada rentang yang lebih panjang tetapi sebaliknya apabila sensor SMS mengalami regangan yang besar maka



sensor bergeser pada rentang yang relatif kecil. Regangan yang besar dapat mengakibatkan sensor mengalami kerusakan fisik. Tampak pada Gambar 4.1 bahwasanya dengan kemiringan  $\theta = 0^\circ$  sensor bergeser sebatas rentang 1 mm jika melebihi rentang pergeseran ini, maka sensor SMS akan mengalami kerusakan fisik (sensor SMS akan putus). Untuk mencegah terjadinya kerusakan fisik dan efek regangan yang besar terhadap sensor, maka pergeseran sensor dibuat membentuk sudut. Bahwasanya pemberian sudut atau kemiringan pada sensor optik bertujuan untuk mengurangi atau memperkecil regangan yang diterima oleh sensor saat terjadi pergeseran. Besarnya regangan pada masing - masing sensor ketika mengalami pergeseran sejauh 1 mm dapat dilihat pada Tabel 4.1

**Tabel 4.1 Regangan serat optik SMS terhadap sudut / kemiringan sensor**

Panjang serat optik MM	Sudut / Kemiringan ( $\theta^\circ$ )	Pergeseran mm	Regangan
10 cm	20	1	0,0134
	15		0,0138
	10		0,0141
	5		0,0143
	0		0,0145
8 cm	20	1	0,0138
	15		0,0142
	10		0,0145
	5		0,0147
	0		0,0148
6 cm	20	1	0,0143
	15		0,0146
	10		0,0149
	5		0,0151
	0		0,0152
4 cm	20	1	0,0147
	15		0,0151
	10		0,0154
	5		0,0155
	0		0,0156

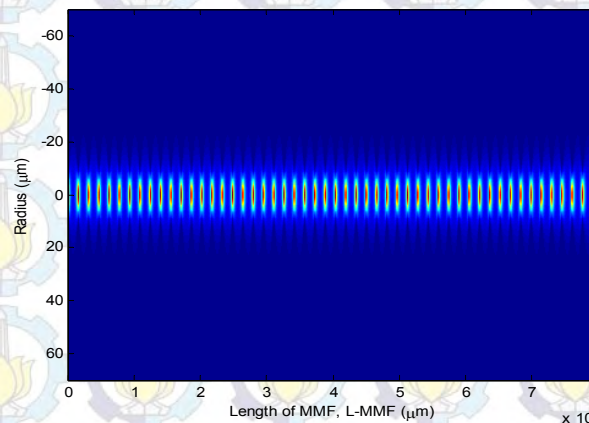


Ketika sensor optik SMS bergeser membentuk sudut  $\theta = 20^\circ$ ,  $\theta = 15^\circ$ ,  $\theta = 10^\circ$ ,  $\theta = 5^\circ$  dan  $\theta = 0^\circ$  maka regangan yang dialami sensor semakin lama semakin besar. Besarnya regangan pada sensor SMS dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1 dan untuk menghitung perubahan panjang ( $L_t$ ) pada sensor optik ketika berada pada posisi miring dapat dihitung dengan persamaan 2.2. Sensor SMS yang memiliki panjang serat optik *multimode* 10 cm dan kemiringan  $\theta = 20^\circ$  ketika diberi pergeseran sejauh 1 mm maka sensor optik mengalami regangan sebesar 0,0134 namun sebaliknya pada sudut yang kecil  $\theta = 0^\circ$  sensor mengalami regangan sebesar 0,0145 hal ini membuktikan bahwa pemberian sudut atau kemiringan akan memberikan efek regangan terhadap sensor optik SMS. Regangan yang dialami serat optik berstruktur SMS akan memberikan efek terhadap rentang pergeseran sensor SMS.

Regangan yang dialami sensor SMS dapat mempengaruhi terbentuknya *slope* positif dan negatif seperti yang tampak pada Gambar 4.1. *Slope* pada grafik disebabkan oleh perubahan panjang serat optik *multimode* yang terdapat pada sensor SMS. Pada dasarnya panjang serat optik *multimode* yang terdapat pada sensor optik berstruktur SMS akan membatasi munculnya peristiwa *multimode interference* (MMI). Peristiwa MMI yang terdapat pada sensor SMS akan terjadi disepanjang serat optik multimode, hal ini terjadi karena serat optik berstruktur SMS menerima gaya berupa tarikan, lekukan (*bending*). Peristiwa MMI akan membangkitkan terjadinya interferensi imaksimum dan minimum dalam sensor optik berstruktur SMS. Peristiwa interferensi ini bergantung pada ukuran serat optik *multimode* yang digunakan dan gaya yang mempengaruhinya. Bahwasanya penggunaan ukuran seperti diameter dan panjang serat optik *multimode* serta indeks bias bahan sensor SMS dapat mempengaruhi kecepatan moda-moda yang merambat disepanjang serat optik. Bahwa diameter serat optik *multimode* dan panjang gelombang operasi ( $\lambda$ ) akan mempengaruhi jumlah moda yang terdapat pada serat optik *multimode*. Moda moda yang merambat dalam sensor optik SMS dipengaruhi *input* atau gaya berupa tarikan. Ketika sensor optik SMS mendapat gaya berupa tarikan sehingga menimbulkan regangan pada sensor optik. Regangan karena tarikan akan mempengaruhi posisi titik *re-imaging* yang terdapat pada sensor SMS. Perubahan posisi titik *re-imaging* pada sensor SMS



akan mempengaruhi terjadinya peristiwa interferensi maksimum dan minimum didalam sensor optik. Ketika serat optik SMS diberi sinar laser dengan panjang gelombang ( $\lambda$ ) 1550 nm, diameter inti serat optik *multimode* 62,5  $\mu\text{m}$  dan serat optik *singlemode* dengan diameter inti 8,3  $\mu\text{m}$ . Maka keberadaan posisi *self imaging* dalam serat optik SMS terdapat pada setiap 1,57 mm. Posisi titik *re-imaging* dalam sensor optik SMS dapat dilihat pada Gambar 4.2



Gambar 4.2 Jarak titik *re-imaging* dalam serat optik SMS dengan laser panjang gelombang 1550 nm

Pemberian regangan berupa tarikan pada serat optik SMS menyebabkan terjadinya perubahan panjang dan hal ini akan mempengaruhi keberadaan posisi titik *re-imaging* dari kondisi mula – mula. Perubahan tersebut dapat mendekati atau menjauhi posisi titik *re-imaging*. Apabila kondisi pergeseran serat optik *multimode* mendekati titik *re-imaging* maka terjadi peristiwa interferensi maksimum dan daya optik yang terukur akan semakin besar. Namun sebaliknya apabila kondisi pergeseran serat optik *multimode* menjauhi posisi titik *re-imaging* maka terjadi peristiwa interferensi minimum dan mengakibatkan daya optik yang terukur akan semakin kecil. Hal inilah yang menyebabkan munculnya *slope* positif dan *slope* negatif.( Kumar dkk, 2003 dan Wang dkk, 2008 ). Ketika sensor SMS menggunakan panjang serat optik *multimode* 10 dan 8 cm, sensor optik mengalami peristiwa inteferensi maksimum, munculnya interferensi maksimum terjadi akibat sensor optik mengalami regangan terutama pada bagian serat optik *multimode*. Sensor optik SMS yang memiliki panjang *multimode* 4 dan



6 cm ketika diberi *input* terjadi perubahan panjang yang menjauhi posisi titik *re-imaging*. Ketika menjauhi posisi titik *re-imaging* maka terjadi peristiwa interferensi minimum yang mengakibatkan hilangnya moda-moda semakin banyak. Peristiwa hilangnya moda-moda akan menimbulkan pelemahan daya optik. Mengacu pada penelitian sebelumnya (Harald dkk, 2005 dan Kumar dkk, 2003 ), pemberian sudut dan penggunaan panjang serat optik *multimode* pada sensor SMS dapat mempengaruhi rentang pergeseran dan nilai sensitivitas sensor. Besarnya sensitivitas sensor dan rentang pergeseran dapat dilihat pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2 Sensitivitas sensor terhadap laser panjang gelombang 1550 nm**

Panjang Multimode (MM)	Sudut / Kemiringan ( $\theta^0$ )	Sensitivitas dBm/mm	Rentang mm	Korelasi ( $R^2$ )
10 cm	20	0,031	8	0,987
	15	0,039	6	0,987
	10	0,066	4	0,982
	5	0,105	2	0,999
	0	0,290	1	-
8 cm	20	0,033	8	0,952
	15	0,042	6	0,983
	10	0,066	4	0,956
	5	0,110	2	0,997
	0	0,320	1	-
6 cm	20	-0,017	8	0,993
	15	-0,026	6	0,981
	10	-0,038	4	0,982
	5	-0,045	2	0,995
	0	-0,310	1	-
4cm	20	-0,025	8	0,992
	15	-0,035	6	0,964
	10	-0,048	4	0,988
	5	-0,090	2	0,871
	0	-0,300	1	-

Dari tabel diatas, sensor SMS dengan panjang serat optik multimode 8 cm memberikan sensitivitas yang lebih baik dari pada panjang serat optik multimode



yang lainnya ( 4 cm, 6 cm, 10 cm). Adanya perbedaan sensitivitas dari masing-masing sensor disebabkan oleh pengaruh panjang serat optik multimode yang terdapat pada sensor SMS. (Kumar dkk 2003, Wang dkk, 2008 ), Pada tabel 4.2 terlihat bahwa penggunaan panjang serat optik multimode 10 cm pada sudut atau kemiringan  $\theta = 20^0$  memiliki sensitivitas sebesar 0,031dBm/mm dan rentang pergeseran sepanjang 0 – 8 mm. Sensor SMS dengan panjang serat optik multimode 8 cm, dengan sudut  $\theta = 20^0$  memiliki sensitivitas yang lebih baik, dengan sensitivitas sebesar 0,033 dBm/mm dan rentang pergeseran sejauh 0 – 8 mm. Hasil eksperimen ini menunjukkan bahwa panjang serat optik *multimode* yang terdapat pada sensor SMS dapat mempengaruhi sensitivitas sensor. Ketika sensor SMS diberi *input* berupa tarikan maka terjadi pergeseran fisik. Pergeseran fisik yang terjadi pada sensor akan menyebabkan serat optik SMS mengalami perubahan panjang, perubahan diameter *core* dan *cladding*. Perubahan diameter *core* dan *cladding* pada serat optik akan mempengaruhi pola rambat cahaya dan mengakibatkan terjadinya pelemahan daya keluaran pada sensor dan hal ini juga mempengaruhi sensitivitas dari sensor optik SMS ( Hatta dkk, 2013 ). Ketika sensor SMS menerima regangan akibat tarikan sehingga menimbulkan peristiwa interferensi gelombang didalam seart optik SMS dan perambatan gelombang akan mendekati atau menjauhi posisi titik *re-imaging*. Pergeseran yang mendekati titik *re-imaging* akan meningkatkan sensitivitas sensor SMS. Ketika digunakan sinar laser dengan panjang gelombang 1550 nm terhadap sensor SMS yang menggunakan panjang serat optik multimode 8 cm maka terjadi kenaikan rugi daya yang lebih besar pada sensor optik. Kenaikan rugi daya pada serat optik akan memberikan pengaruh sensitivitas terhadap sensor dan besarnya sensitivitas sensor mencapai 0,033 dBm/mm. Sensor SMS yang memiliki panjang serat optik multimode 6 cm memberikan sensitivitas sebesar -0,017 dBm/m dan sensor SMS yang memiliki panjang serat optik multimode 4 cm memberikan sensitivitas -0,025 dBm/mm. Sensitivitas yang bernilai negatif menunjukkan bahwa moda moda yang terdapat disepanjang serat optik mengalami interferensi minimum sehingga terjadi pelemahan intensitas cahaya disepanjang serat optik, sehingga sensor SMS mengalami penurunan daya optik serta memberikan pengaruh terhadap sensitivitas sensor. Sensor SMS dengan panjang serat optik



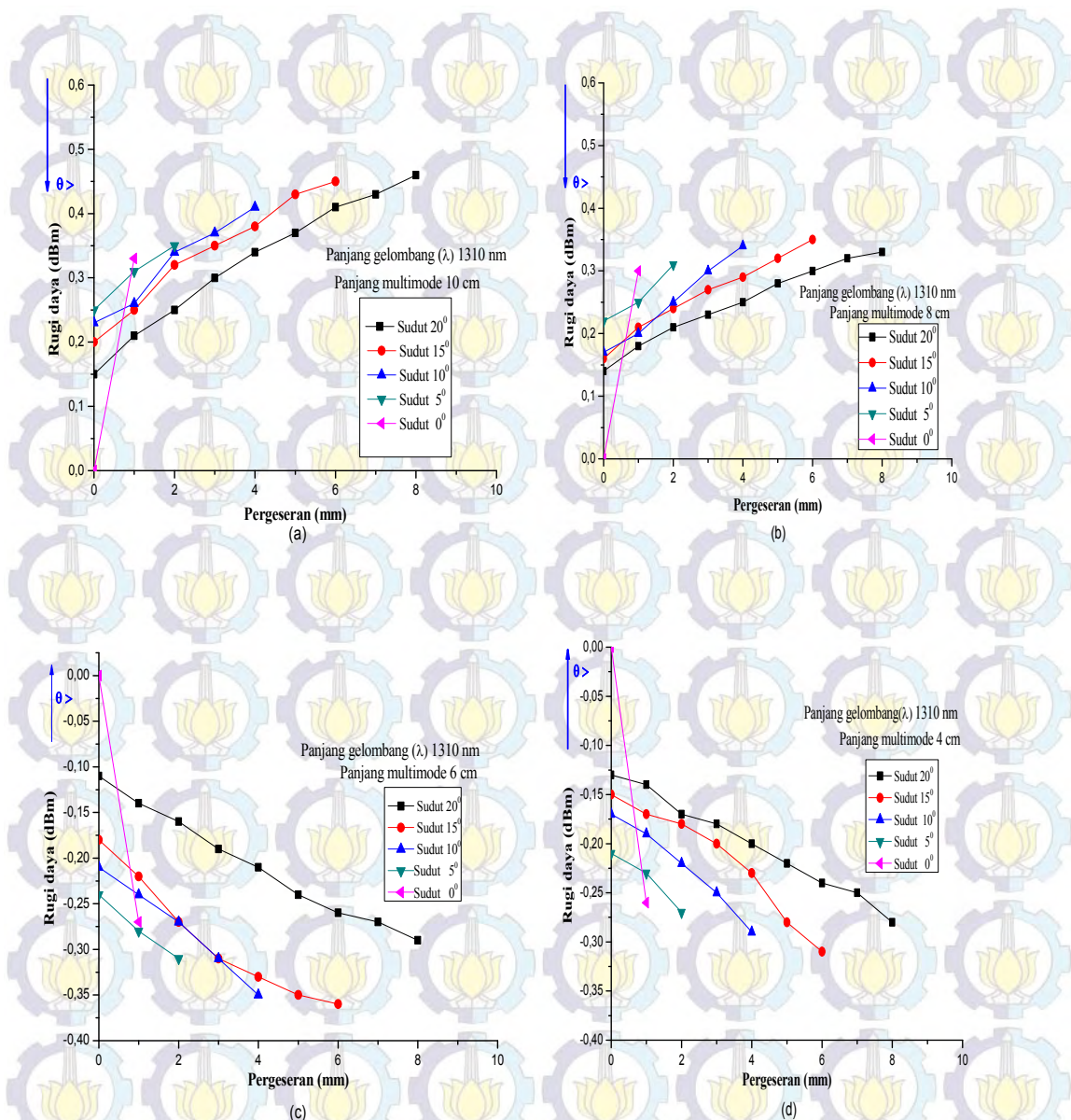
*multimode* 8 cm memberikan sensitivitas yang lebih baik jika dibandingkan terhadap sensor SMS yang memiliki panjang serat optik *multimode* yang lainnya.

Dari eksperimen ini dapat disimpulkan bahwa sensor SMS yang memiliki panjang serat optik *multimode* 8 cm paling sesuai untuk gelombang operasi 1550 nm sebab sensor SMS dengan panjang *multimode* 8 cm memiliki sensitivitas yang lebih baik jika dibandingkan terhadap sensor SMS dengan panjang serat optik *multimode* yang lainnya.

#### **4.2 Hasil uji sensor pergeseran menggunakan laser panjang gelombang 1310 nm.**

Pada eksperimen kedua ini, sensor pergeseran SMS diuji dengan menggunakan laser panjang gelombang operasi 1310 nm. Sensor SMS dengan panjang serat optik *multimode* 8 dan 10 cm menghasilkan grafik dengan *slope* positif dan panjang serat optik 6 dan 4 cm menunjukkan grafik dengan *slope* negatif. Penyebab terjadinya *slope* negatif dan positif pada grafik, disebabkan oleh pengaruh ukuran dan panjang serat optik *multimode* serta panjang gelombang operasi yang digunakan pada sensor SMS. Penggunaan panjang serat optik *multimode* dapat mempengaruhi peristiwa *multimode* interferensi (MMI) pada sensor SMS. MMI akan menyebabkan terjadinya interferensi maksimum dan minimum di dalam serat optik *multimode*. Ketika sensor SMS diberi input berupa tarikan maka menyebabkan terjadi perubahan panjang pada serat optik *multimode* sehingga menimbulkan peristiwa MMI. *Slope* grafik seperti yang tampak pada Gambar 4.3 (a), (b), (c) dan (d). Ketika sensor diberi *input* berupa tarikan maka moda moda yang terdapat pada sensor optik akan merambat disepanjang serat optik *multimode* dan mengakibatkan terjadinya peningkatan intensitas cahaya disepanjang serat optik. Apabila terjadi interferensi maksimum disepanjang serat optik *multimode* maka daya optik yang terukur semakin besar. Peristiwa interferensi maksimum dan minimum didalam serat optik SMS akan mempengaruhi *slope* grafik seperti yang terlihat pada Gambar 4.3.





Gambar 4.3 Grafik hubungan pergeseran terhadap rugi daya dengan laser panjang gelombang 1310 nm.

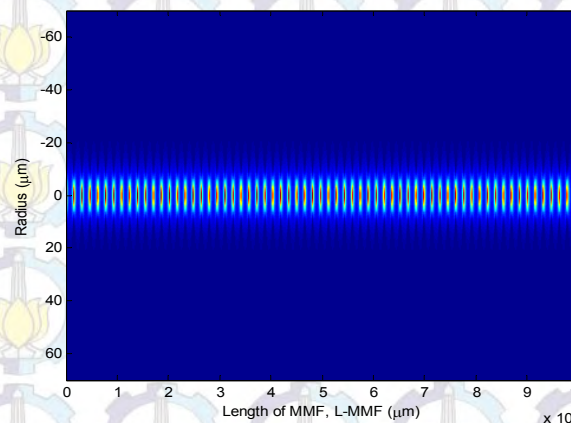
- (a) Sensor SMS menggunakan panjang serat optik *multimode* 10 cm.
- (b) Sensor SMS menggunakan panjang serat optik *multimode* 8 cm.
- (c) Sensor SMS menggunakan panjang serat optik *multimode* 6 cm.
- (d) Sensor SMS menggunakan panjang serat optik *multimode* 4 cm.

Ketika digunakan laser dengan panjang gelombang ( $\lambda$ ) 1310 nm rentang pergeseran yang diperoleh tidak memberikan perbedaan dengan penggunaan laser panjang gelombang 1550 nm. Hal ini menunjukkan bahwa rentang pergeseran tidak dipengaruhi oleh panjang gelombang sinar laser namun yang signifikan mempengaruhi rentang pergeseran adalah regangan pada serat optik. Panjang



gelombang sinar laser dapat mempengaruhi nilai sensitivitas sensor. Munculnya pola – pola diatas disebabkan adanya pengaruh *multimode inteference* (MMI) yang terdapat pada sensor optik SMS. Pengaruh (MMI) pada sensor SMS telah dijelaskan pada halaman 33 – 35.

Pada eksperimen yang kedua digunakan laser dengan panjang gelombang 1310 nm. Panjang gelombang operasi akan mempengaruhi keberadaan posisi titik *re-imaging*. Selain itu posisi titik *re-imaging* juga dipengaruhi oleh ukuran serat optik *multimode* dan *singlemode*. Ketika digunakan serat optik *multimode* dan *singlemode* dengan ukuran diameter inti 62,5  $\mu\text{m}$  dan 8,3  $\mu\text{m}$ . Ketika sensor SMS menggunakan panjang serat optik *multimode* 10 cm. maka keberadaan posisi *re-imaging* dalam serat optik SMS ada pada setiap jarak 1,86 mm seperti yang tampak pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Jarak titik *re-imaging* pada sensor SMS dengan laser panjang gelombang 1310 nm

Dalam tinjauan pustaka dijelaskan bahwa nilai sensitivitas dan linearitas sensor optik juga dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti cara disain sensor dan penggunaan sumber cahaya atau panjang gelombang operasi. (Harun dkk, 2011).

Ketika digunakan laser dengan panjang gelombang 1310 nm maka besarnya sensitivitas sensor yang diperoleh, dapat dilihat pada Tabel 4.3



**Tabel 4.3 Sensitivitas sensor terhadap laser panjang gelombang  $\lambda = 1310$  nm**

Panjang Multimode (MM)	Sudut / Kemiringan ( $^{\circ}$ )	Sensitivitas dBm/mm	Rentang mm	Korelasi ( $R^2$ )
10 cm	20	0,038	8	0,985
	15	0,041	6	0,977
	10	0,047	4	0,974
	5	0,050	2	0,986
	0	0,290	1	-
8 cm	20	0,023	8	0,983
	15	0,030	6	0,986
	10	0,044	4	0,993
	5	0,045	2	0,997
	0	0,300	1	-
6 cm	20	-0,022	8	0,986
	15	-0,029	6	0,943
	10	-0,034	4	0,989
	5	-0,035	2	0,993
	0	-0,310	1	-
4cm	20	-0,018	8	0,992
	15	-0,026	6	0,964
	10	-0,030	4	0,988
	5	-0,032	2	0,871
	0	-0,260	1	-

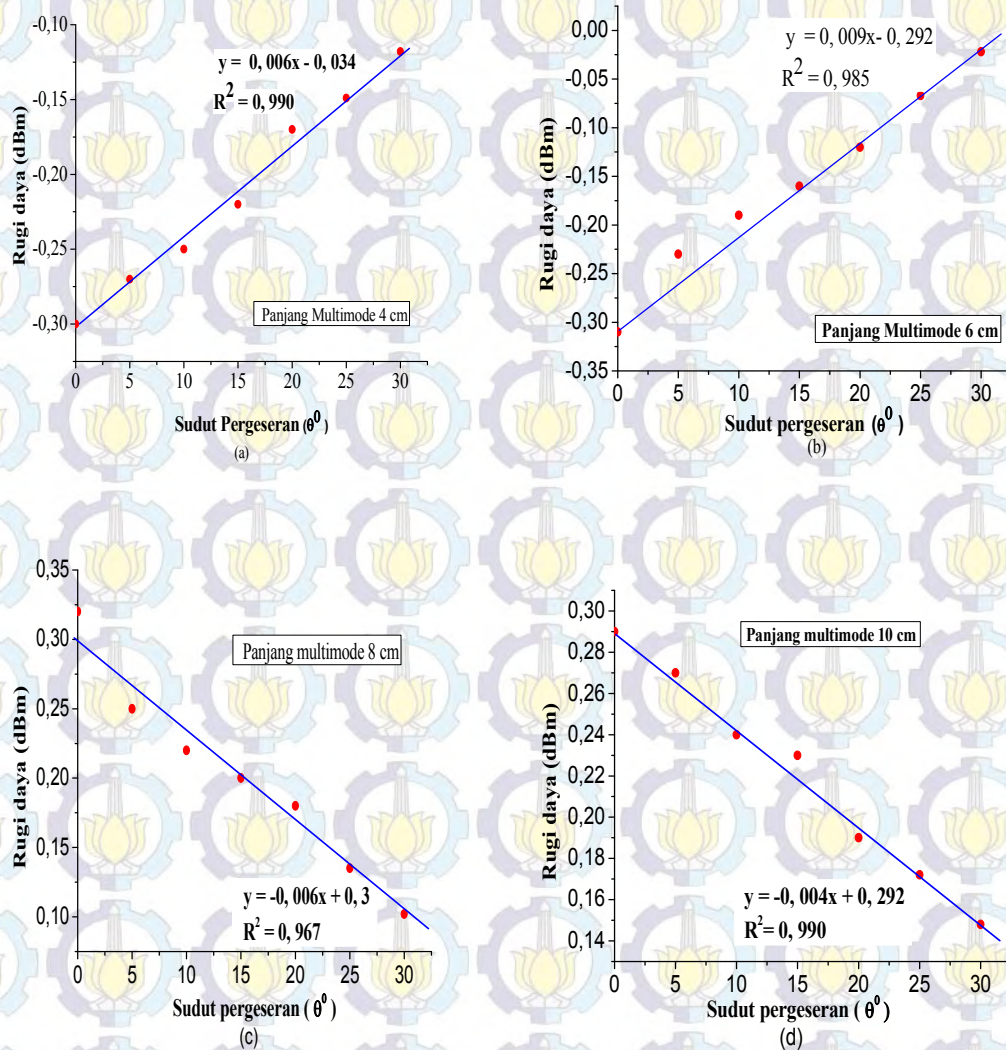
Dari tabel diatas terlihat bahwa sensitivitas sensor yang terbaik terdapat pada sensor SMS yang memiliki panjang serat optik multimode 10 cm. Dimana nilai sensitivitas sensor pada sudut  $\theta = 20^{\circ}$  mencapai 0,038 dBm/mm dan rentang pergeseran mencapai 0 – 8 mm. Dari hasil eksperimen dapat dinyatakan bahwa penggunaan panjang gelombang 1310 nm lebih sesuai digunakan untuk sensor SMS yang memiliki panjang serat optik multimode 10 cm.

#### 4.3 Estimasi rugi daya sensor optik berstruktur SMS.

Besarnya rugi daya pada sensor SMS ketika mengalami pergeseran selain diukur oleh detektor *optical power meter* namun rugi daya pada sensor tersebut dapat dihitung dengan regresi linier, menggunakan persamaan (2.13). Pada



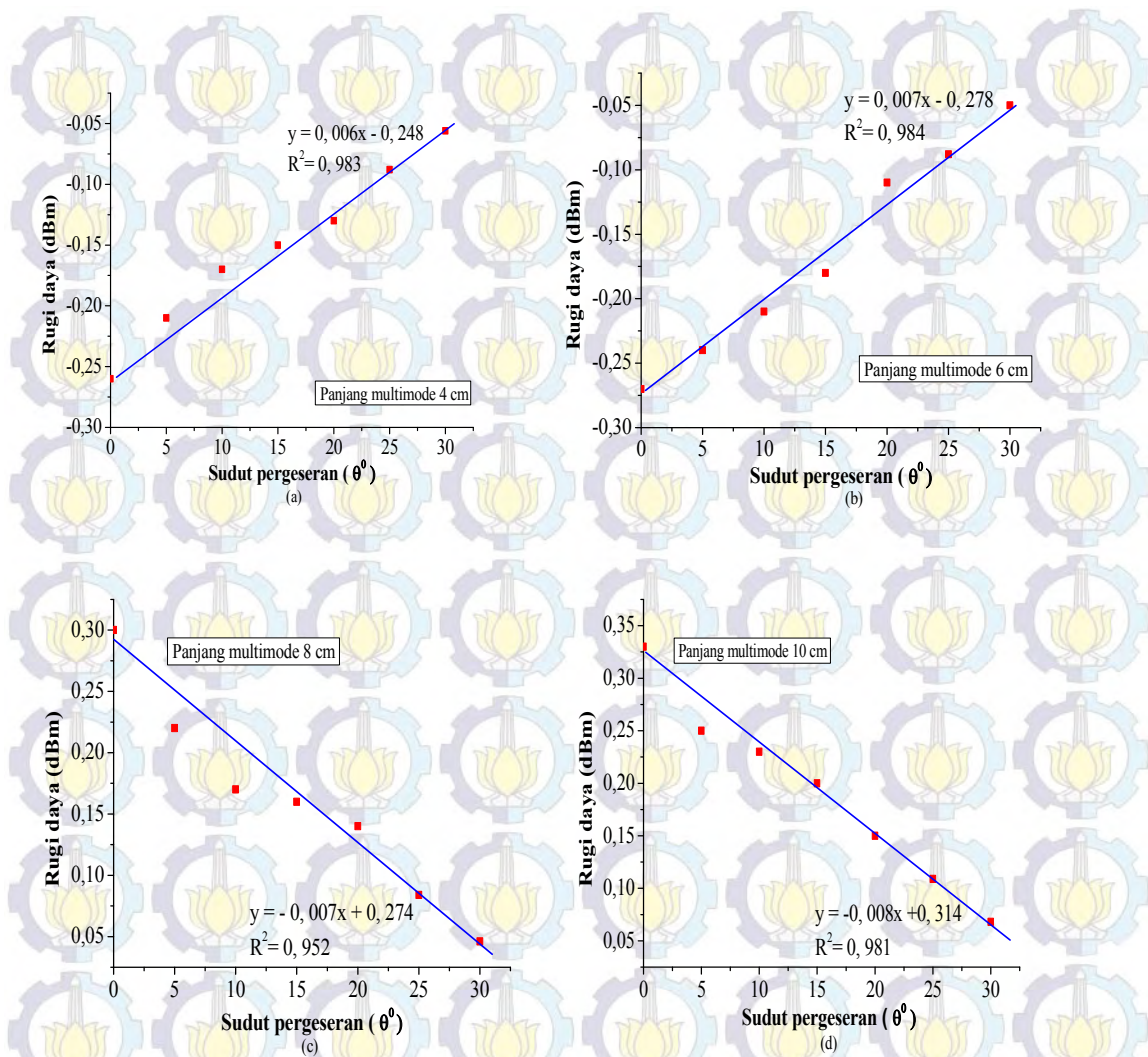
ekperimen ini, rugi daya yang diukur oleh *optical power meter* sebatas konfigurasi sudut  $\theta = 0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ$  dan  $20^\circ$ . Namun untuk kemiringan atau sudut yang lebih besar  $\theta = 25^\circ$  dan  $30^\circ$ , besarnya rugi daya pada masing masing sensor SMS, dilakukan dengan estimasi menggunakan regresi linier. Besarnya rugi daya yang terdapat sensor SMS tampak pada Gambar 4.5 dan 4.6.



Gambar 4.5 Estimasi rugi daya sensor SMS dengan laser panjang gelombang 1550 nm

- (a) Panjang serat optik multimode 4 cm, (b) Panjang serat optik multimode 6 cm,  
(c) Panjang serat optik multimode 8 cm, (d) Panjang serat optik multimode 10 cm





Gambar 4.6 Estimasi rugi daya sensor SMS dengan laser panjang gelombang 1310 nm

(a) Panjang serat optik multimode 4 cm, (b) Panjang serat optik multimode 6 cm, (c) Panjang serat optik multimode 8 cm, (d) Panjang serat optik multimode 10 cm

Rugi daya sensor SMS yang dihitung dengan regresi linier dan rugi daya yang diperoleh dari hasil pengukuran, memberikan hubungan yang berkorelasi. Ketika rugi daya hasil pengukuran dihubungkan dengan rugi daya yang diperoleh dari regresi linier, telah memberikan nilai korelasi ( $R^2$ ) yang cukup baik dimana hasil diperoleh  $R^2 \geq 75$ . Penggunaan Regresi Linier telah dilakukan pada masing-masing sensor SMS yang memiliki panjang serat optik *multimode* 4, 6, 8 dan 10



cm, besarnya rugi daya sensor SMS berdasarkan estimasi dari masing – masing sensor SMS, tampak pada Tabel 4.4.

**Tabel 4.4 Estimasi rugi daya sensor SMS dengan regresi linier**

<b>Panjang gelombang (<math>\lambda</math>) 1550 nm</b>				
Sudut ( $\theta^0$ )	Panjang Serat optik Multimode (cm)			
	4	6	8	10
	Rugi daya (dBm)	Rugi daya (dBm)	Rugi daya (dBm)	Rugi daya (dBm)
25	-0,149	-0,067	0,135	0,172
30	-0,118	-0,022	0,102	0,148
<b>Panjang gelombang (<math>\lambda</math>) 1310 nm</b>				
Sudut ( $\theta^0$ )	Panjang Serat optik Multimode (cm)			
	4	6	8	10
	Rugi daya (dBm)	Rugi daya (dBm)	Rugi daya (dBm)	Rugi daya (dBm)
25	-0,088	-0,087	0,084	0,109
30	-0,056	-0,050	0,046	0,068

Hasil diperoleh dari regresi linier dapat digunakan untuk mengestimasi besarnya rugi daya pada masing – masing sensor. Data yang diperoleh dari perhitungan dengan regresi linier digunakan sebagai data acuan untuk menentukan nilai kesalahan (*error*) disaat melakukan pengukuran. Hasil lengkap estimasi rugi daya sensor SMS pada sudut  $0^0$  –  $30^0$  dengan regresi linier dapat dilihat pada lampiran C dan D.

#### **4.3.1 Error pengukuran.**

*Error* dapat terjadi karena beberapa faktor seperti adanya gangguan luar (*noise*) diantaranya pengaruh suhu dan cahaya sekitar (*ambient light*) (Patil dkk, 2011). Kesalahan dalam mengoperasikan alat ukur (*Human error*) dan ketidak stabilan alat ukur. *Error* dari suatu pengukuran dapat diketahui dengan membandingkan hasil data pengukuran dengan data yang diperoleh dari perhitungan regresi linier. *Error* ketika melakukan pengukuran rugi daya pada



sensor serat optik berstruktur SMS dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.4).

$$Error = \left| \frac{Nilai\ ukur - Nilai\ hitung}{Nilai\ ukur} \right| \times 100\%$$

Nilai *error* saat pengukuran dari masing-masing sensor SMS saat membentuk sudut  $\theta = 0^0, 5^0, 10^0, 15^0$  dan  $20^0$  dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan 4.6.

**Tabel 4.5 Error pengukuran pada masing masing sensor optik SMS dengan laser panjang gelombang  $\lambda = 1550$  nm**

Menggunakan Laser dengan Panjang Gelombang 1550 nm						
Sudut ( $\theta$ )	Panjang serat optik Multimode					
	4 cm			6 cm		
	Rugi daya terukur (dBm)	Rugi daya terhitung (dBm)	Error (%)	Rugi daya terukur (dBm)	Rugi daya terhitung (dBm)	Error (%)
0	-0,30	-0,304	1,33	-0,31	-0,292	5,81
5	-0,27	-0,273	1,11	-0,23	-0,247	7,39
10	-0,25	-0,242	3,20	-0,19	-0,202	6,32
15	-0,22	-0,211	4,09	-0,16	-0,157	1,88
20	-0,17	-0,18	5,88	-0,12	-0,112	6,67
Sudut ( $\theta$ )	Panjang serat optik Multimode					
	8 cm			10 cm		
	Rugi daya terukur (dBm)	Rugi daya terhitung (dBm)	Error (%)	Rugi daya terukur (dBm)	Rugi daya terhitung (dBm)	Error (%)
0	0,32	0,300	6,3	0,29	0,292	0,69
5	0,25	0,267	6,8	0,27	0,268	0,74
10	0,22	0,234	6,4	0,24	0,244	1,67
15	0,20	0,201	0,5	0,23	0,220	4,35
20	0,18	0,168	6,7	0,19	0,196	3,16



**Tabel 4.6 Error pengukuran dari masing masing sensor optik SMS dengan laser panjang gelombang  $\lambda = 1310$  nm**

Menggunakan Laser dengan Panjang Gelombang 1310 nm						
Panjang serat optik Multimode						
Sudut ( $\theta$ )	4 cm			6 cm		
	Rugi daya terukur (dBm)	Rugi daya terhitung (dBm)	Error (%)	Rugi daya terukur (dBm)	Rugi daya terhitung (dBm)	Error (%)
0	-0,26	-0,248	4,62	-0,27	-0,278	2,96
5	-0,21	-0,216	2,86	-0,24	-0,241	0,42
10	-0,17	-0,184	8,24	-0,21	-0,202	3,81
15	-0,15	-0,152	1,33	-0,18	-0,164	8,89
20	-0,13	-0,12	7,69	-0,11	-0,126	14,55
Panjang serat optik Multimode						
Sudut ( $\theta$ )	8 cm			10 cm		
	Rugi daya terukur (dBm)	Rugi daya terhitung (dBm)	Error (%)	Rugi daya terukur (dBm)	Rugi daya terhitung (dBm)	Error (%)
0	0,30	0,274	8,7	0,33	0,314	4,85
5	0,22	0,236	7,3	0,25	0,273	9,20
10	0,17	0,198	16,5	0,23	0,232	0,87
15	0,16	0,162	1,30	0,20	0,191	4,50
20	0,14	0,122	12,9	0,15	0,151	0,67

Pada Tabel 4.5 dan 4.6 terlihat nilai *error* yang bervariasi. *Error* pengukuran dapat terjadi karena adanya kesalahan dalam mengoperasikan alat ukur (*human error*) sehingga memberikan hasil yang tidak maksimum. *Error* dapat juga terjadi karena penggunaan alat ukur yang tidak stabil, untuk mendapatkan hasil pengukuran yang baik maka sebaiknya alat ukur dikalibrasi. Mengacu pada penelitian sebelumnya (Patil dkk, 2011) *error* dapat terjadi akibat *noise* seperti pengaruh temperatur dan cahaya disekitar sensor optik. Untuk

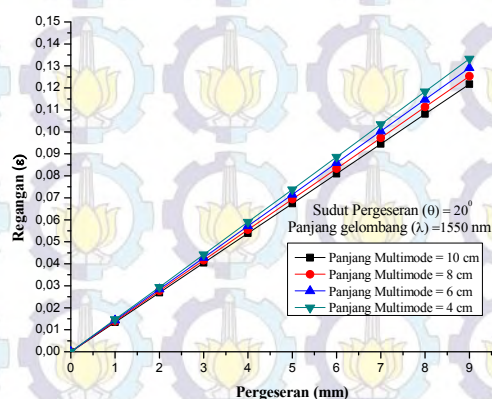


memperkecil *noise* seperti temperatur dan cahaya sekitar sensor maka keberadaan sensor optik harus dijauhi terhadap alat penerang yang berlebihan seperti cahaya yang berada disekitar sensor optik sebab sensor optik SMS sangat peka terhadap temperatur dan cahaya.

Pada eksperimen ini *error* juga muncul karena bending. Hal ini teramati ketika sensor belum diberi input namun pergeseran pada masing – masing sudut telah menunjukkan adanya rugi daya pada detektor *optical power meter*. Rugi daya yang muncul pada sensor SMS disebabkan permukaan *fix plate* dan *moveable plate* terletak pada posisi tidak rata dan memiliki permukaan yang kasar, sehingga hal ini dapat menimbulkan adanya tekukan (*bending*) pada sensor. Untuk mengatasi hal ini maka permukaan *fix plate* dan *moveable plate* diberi pelindung atau pelapis yang licin sehingga dapat mengurangi terjadinya tekukan (*bending*) terhadap sensor SMS.

#### 4.4 Hubungan antara regangan dan panjang serat optik SMS

Regangan dari serat optik SMS akan mempengaruhi rentang pergeseran sensor optik. Ketika sensor SMS diberi *input* berupa tarikan maka terlihat kemampuan dari masing – masing sensor optik SMS. Kemampuan bergesernya suatu sensor akan dipengaruhi oleh regangan. Regangan yang kecil dapat memberikan pergeseran yang lebih besar. Hubungan antara regangan dan jarak pergeseran pada sensor SMS dapat di lihat pada Gambar 4.7



Gambar 4. 7 Hubungan regangan terhadap panjang serat optik *multimode*



Pada Gambar 4.4 terlihat bahwa panjang serat optik *multimode* yang terdapat pada sensor SMS memberikan regangan yang berbeda-beda. Bahwasanya sensor SMS yang menggunakan panjang serat optik *multimode* 4 cm menerima regangan lebih besar jika dibandingkan terhadap sensor optik SMS yang lainnya ( 6, 8 dan 10 cm). Regangan yang besar akan membatasi rentang pergeseran sensor. Regangan yang kecil akan memberikan rentang pergeseran yang lebih besar pada sensor SMS. Semakin panjang serat optik *multimode* yang digunakan pada sensor SMS maka semakin kecil regangan yang akan dialami sensor. Ketika sensor SMS diberi input berupa tarikan sejauh 1 mm maka masing masing sensor mengalami regangan seperti yang tampak pada Tabel 4.6

**Tabel 4.7 Pengaruh panjang serat optik multimode terhadap regangan sensor SMS**

Panjang serat optik MM	Sudut / Kemiringan ( $\theta^\circ$ )	Pergeseran mm	Regangan
4 cm	20	1	0,0147
6 cm			0,0143
8 cm			0,0138
10 cm			0,0134

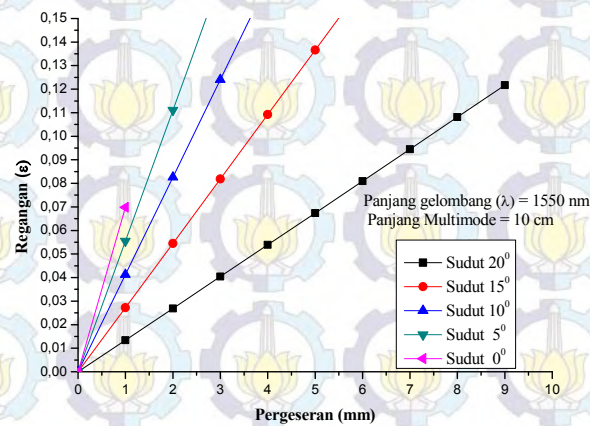
Sensor SMS yang memiliki panjang serat optik multimode 10 cm mengalami regangan lebih kecil dari pada panjang serat optik multimode yang lainnya. Regangan yang besar akan membatasi rentang pergeseran pada sensor. Sehingga dapat disimpulkan bahwa rentang pergeseran yang panjang disebabkan oleh kecilnya regangan yang diterima sensor SMS. Besarnya regangan yang dialami dari masing masing sensor dapat dilihat pada lampiran A dan B.

#### **4.5 Hubungan antara regangan dan kemiringan sensor.**

Rentang pergeseran pada sensor SMS pada dasarnya dipengaruhi oleh besarnya sudut kemiringan sensor dan reganga serat optik. Pada penelitian ini



dilakukan juga kajian antara regangan dan sudut dari masing masing sensor. Pengujian dilakukan pada sensor SMS yang memiliki panjang serat optik terpanjang (MM = 10 cm). Pengujian dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh sudut dan regangan ketika sensor mengalami pergeseran. Pengaruh regangan dan sudut kemiringan terhadap rentang pergeseran sensor SMS dapat dilihat pada Gambar 4.8



Gambar 4. 8 Hubungan regangan terhadap kemiringan sensor.

Pada Gambar 4.8 menunjukkan bahwa sensor serat SMS yang memiliki sudut terbesar  $\theta = 20^\circ$  mengalami regangan terkecil, namun sebaliknya pada sudut terkecil  $\theta = 0^\circ$  sensor optik mengalami regangan terbesar. Pada sudut  $0^\circ$  sensor optik bergeser sebatas 1 mm dan apabila pergeseran melebihi dari 1 mm maka sensor optik akan mengalami kerusakan fisik (sensor optik SMS putus). Dapat disimpulkan bahwa pemberian kemiringan atau sudut pada sensor optik untuk memperkecil regangan sehingga rentang pergeseran yang dicapai sensor akan lebih panjang namun menyebabkan sensor menjadi kurang sensitif.



## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan hasil penelitian

Telah dilakukan eksperimen terhadap sensor serat optik berstruktur SMS dengan panjang multimode 4, 6, 8 dan 10 cm dan konfigurasi sudut pergeseran dibuat dengan variasi  $0^{\circ}$ ,  $5^{\circ}$ ,  $10^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$  dan  $20^{\circ}$ . Berdasarkan hasil yang telah diperoleh dari penelitian serta meninjau kembali permasalahan pada penelitian, batasan yang dikerjakan dan tujuan yang diharapkan dari penelitian, maka dari penelitian ini dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut :

1. Ketika dilakukan uji pergeseran terhadap sensor serat optik berstruktur SMS, dengan panjang serat optik *multimode* yang berbeda diantaranya 4, 6, 8 dan 10 cm dan konfigurasi sudut dibuat bervariasi diantaranya  $\theta = 20^{\circ}$ ,  $\theta = 15^{\circ}$ ,  $\theta = 10^{\circ}$ ,  $\theta = 5^{\circ}$  dan  $\theta = 0^{\circ}$  dan panjang gelombang sinar laser yang digunakan 1550 nm, ketika sensor tersebut diberi *input* atau gaya luar berupa tarikan sejauh 1 mm maka pada sudut  $\theta = 20^{\circ}$  sensor optik SMS menerima regangan lebih kecil jika dibandingkan pada sudut yang lainnya. Adapun regangan yang dialami sensor SMS sebesar 0,0134 namun sebaliknya apabila sumbu sensor membentuk sudut  $\theta = 0^{\circ}$  maka sensor SMS menerima regangan yang lebih besar, adapun regangan yang diterima sensor SMS sebesar 0,0145. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian sudut atau kemiringan pada sumbu sensor akan memperkecil regangan sehingga dapat memperpanjang rentang pergeseran sensor sebab pembentukan konfigurasi sudut akan memberikan efek regangan yang relatif kecil terhadap sensor optik berstruktur SMS.
2. Ketika dilakukan uji pergeseran terhadap sensor optik berstruktur SMS, menggunakan sinar laser dengan panjang gelombang 1550 nm memberikan sensitivitas yang terbaik terhadap sensor SMS yang memiliki panjang serat



optik *multimode* 8 cm. Sensitivitas yang dicapai sensor sebesar 0,033 dBm/mm dan rentang pergeseran mencapai 8 mm. Penggunaan cahaya laser dengan panjang gelombang 1310 nm, memberikan sensitivitas terbaik pada sensor SMS yang memiliki panjang serat optik *multimode* 10 cm dengan sensitivitas sebesar 0,038 dan memiliki rentang pergeseran mencapai 8 mm. Hal ini menunjukkan bahwa panjang serat optik *multimode* yang terdapat pada sensor serat optik berstruktur SMS dan panjang gelombang sinar laser yang digunakan pada sensor SMS dapat mempengaruhi tingkat sensitivitas sensor.

3. Dengan rentang yang panjang, maka sensor ini sangat bermanfaat untuk deteksi pergeseran pada berbagai aplikasi seperti monitoring pergeseran struktur jembatan, gedung, tanggul, dan lainnya.

## 5.2 Saran- saran.

Dalam penelitian ini ada beberapa hal yang perlu dikembangkan, untuk melihat perbandingan hasil dari penelitian ini maka untuk penelitian kedepannya sudut pergeseran sensor diperbesar lebih dari ( $>20^0$ ). Pada penelitian ini digunakan sumber cahaya dan detektor berupa laser dengan panjang gelombang operasi 1550 nm dan *optical power meter*. Untuk melihat perbandingan dari penelitian ini maka penelitian kedepannya penggunaan laser dan *optical power meter* dapat di ganti dengan OTDR.

Panjang serat optik *multimode* yang terdapat pada sensor serat optik berstruktur SMS memiliki pengaruh terhadap sensitivitas sensor optik maka sebaiknya lakukan pemotongan yang presisi pada serat optik *multimode* tersebut. Sebaiknya jangan menggunakan panjang serat optik *multimode* yang lebih kecil dari 4 cm ( $< 4$  cm) sebab ukuran ini sangat sulit saat dilakukan *splicing* terhadap serat optik *singlemode*.

Untuk mengantisipasi terjadinya rugi daya pada sensor ketika belum diberi input maka sebaiknya memperhatikan faktor faktor yang dapat menimbulkan rugi daya pada sensor, akibat ketidakrataan posisi *fix plate* dan *moveable plate*, akan



menyebabkan terjadi tekukan (*bending*) pada sensor sehingga menimbulkan rugi daya pada sensor SMS. Ketika melakukan perancangan posisi *fix plate* dan *moveable plate* yang berfungsi sebagai tempat peletakan sensor SMS sebaiknya dibuat licin dan rata sehingga tidak menimbulkan gesekan antara sensor dengan permukaan bidang.







## DAFTAR PUSTAKA

- Bentley, John P, (2005), *“Principles of Measurement Systems 4th edition”*, USA, Prentice Hall.
- Binu, S. Pillai, Mahadevan V.P, Chandrasekaran, (2007), *“Fiber Optic Displacement Sensor for the Measurement of Amplitudo and Frequency of Vibration”*, Optics and Laser Technology 39, 1537 - 1543
- Buchade, P.B.Shaligram, (2006), *“Simulation and Experimental Studies of Inclined Two Fiber displacement Sensor”*, Sensor & Actuator. Elsevier Engineering.
- Changyu. Zhong Chuan, (2011), *“Novel Temperatur – Insentive Fiber Bragg Grating Sensor for Displacement Measurement”*, Sensor and Actuators A 170, 51 - 54
- Crisp John,(2001), *”Introduction to Fiber Optics 2<sup>nd</sup> Edition.* Elsevier plc group, Jordan hill,Oxford
- Fraden Jacob,(2003), *”Modern Sensor:physics,designs and application 3<sup>rd</sup> Edition.* San Diego, California, Springer.
- Gao, R.X, Wang, Q., Zhao, F., Meng, B., dan Qu, S.L, (2010) *“, Optimal Design and Fabrication of SMS Fiber Temperature Sensor For Liquid”*. Optics Communication, Vol 283, Hal. 3149-3152.
- Hadi, J.G, (2011)*“Rancang Bangun Sensor Serat Optik Terdistribusi Berbasis Optical Time Domain Reflectometer (OTDR) Untuk Pendeteksian Dini Retakan Pada Struktur Beton”*, Surabaya. ITS
- Harald, Emil, David ,(2005-2010) *“Long Range Extensometer for Civil Structure Monitoring Using Fibre Bragg Grating”*, Measurement Science and Techology.
- Harun, SW. Yang. HZ. Arof. H, (2012) *“ Theoretical and Experimental Studies on Coupler Based Fiber Optic Displacement Sensor With Concave Mirror”*, Optic 123 2105-2108 Elsevier.
- Hatta, A. M Semenova Y, Wu Qiang, (2010)*“Strain Sensor Based on a Pair of Singlemode-Multimode-Singlemode Fiber Structures in a Ratiometric Power Measurement Scheme”*. Optical Society of America. Applied Optics, vol. 49, No. 3, 20 January.
- Hatta, A. M. Disertasi Ph.D, (2009) *“Singlemode-Multimode-Singlemode Optical Fiber Structures for Optical Sensing ”*. Dublin institute of technology.
- Hatta, A. M., Permana, H.E., Setijono, H., Kusumawardhani, A., Sekartedjo,(2013) *“Strain Measurement Based on SMS Fiber Structure Sensor and OTDR”*, Microwave and Optical Technology Letter.



- Hatta, A.M., Semenova, Y., Rajan, G., dan Farrell, G., (2010) “*Polarization Dependence of an Edge Filter Based on Singlemode-Multimode-Singlemode Fiber*”. Optic and Laser Technology, Vol. 42, Hal. 1044-1048.
- Jianfeng wang, Yongxiang, Zhao Yu., (2011) “*Refractive Index Sensor Based on all Fiber Multimode Interference*” Optic.
- Kim, D.H. (2004) “*Damage Detection of Composite Structures Using a Stabilized Extrinsic Fabri-Perot Interferometric Sensor System*”. Smart master struct.
- Kumar Arun, K Ravi, Varshney, (2003) “*Transmssion Characteristics of SMS Fiber Optic Sensor Structures*”. (Optics communication 219) 215-219.
- Kuntaraco, B Rionda. Tesis Magister, (2013) “*Pengembangan Metode Pengukuran Beban Menggunakan Serat Optik Berstruktur Singlemode Multimode Singlemode*”. ITS Surabaya.
- Mehta Alok, Waleed M, Jonsson G Eric (2003) “*Multimode Interference- Based Fiber-optic Displacement Sensor*” Photonics Technology Letters, Vol 15, No. 8 August 2003. IEEE
- Patil. SS. Shaligram. AD (2011) “*Modeling and Experimental Studies on Retro-Reflective Fiber Optic Micro Displacement Sensor With Variable Geometrical Properties*” Sensor and Actuators A 172(2011) 428-433. Elsevier.
- Prelle Cristine, Lamarque, Philippe Revel, (2005) “*Reflective Optical Sensor for Long Range and High Resolution Displacement*” Sensor and Actuators A 127 ( 2006) 139 -146.
- Sinclairr, (2001) “*Sensor and Tranducers Third Edition*” Reed Elseivier group, an Imprint of Butterworth-Heinemann.
- T.S Francis, Yin, S.(2002) “*Fiber Optic Sensor* ”. New York, Marcel Dekker.
- Tripathi, S.M., Kumar, A., Varshney, R.K., Kumar, Y.B.P., Marin, E. dan Meunier, J.P., (2009) “*Strain and Temperature Sensing Characteristic of Singlemode-Multimode-Singlemode Structures*”, Journal of Lightwave Technology, Vol. 27, No. 13, Hal. 2348 – 2356
- Wahyuni, Sri Pipit. Tesis Magister (2011), “*Karakterisasi Fiber Bragg Grating(FBG) Tipe Uniform Dengan Modulasi akustik Menggunakan Metoda Transfer Matrik*”. ITS Surabaya
- Walpole. E Ronald. (2011), “*Probability & Statistics for Engineers and Scientists*” 9<sup>th</sup> Edition, Prentice Hall,
- Wang, Q., Farrell, G. dan Yan, W,(2008), “*Investigation on Singlemode-Multimode-Singlemode Fiber Structure*”. IEEE Trans. Journal of Lightwave Technology, vol. 26, No. 5, Hal. 512 – 51.



Widyana. Tugas Akhir. (2010) *“Perancangan Sensor Serat Optik Untuk Pengukuran Pergeseran Obyek Dalam Orde Mikrometer Menggunakan Serat Optik Multimode”*. ITS Surabaya.

Zeamansky. (1992), *”Fisika Untuk Universitas”* Addison – Wisely Publishing Company, Inc Jakarta – New York.



## LAMPIRAN A

**TABEL A1: Rugi Daya Serat Optik Berstruktur SMS dengan Laser Panjang Gelombang 1550 nm**

Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	10cm	20°	0	-9,43	-9,43	-9,41	-9,42	-9,42	0,010	0,00	0,0000
			1	-9,24	-9,25	-9,21	-9,22	-9,23	0,018	0,19	0,0134
			2	-9,21	-9,21	-9,18	-9,19	-9,20	0,015	0,23	0,0269
			3	-9,18	-9,18	-9,16	-9,16	-9,17	0,012	0,25	0,0404
			4	-9,13	-9,14	-9,13	-9,12	-9,13	0,008	0,29	0,0539
			5	-9,10	-9,11	-9,09	-9,08	-9,10	0,013	0,33	0,0674
			6	-9,05	-9,07	-9,05	-9,06	-9,06	0,010	0,36	0,0809
			7	-9,00	-9,02	-9,01	-9,03	-9,02	0,013	0,40	0,0945
			8	-8,99	-9,00	-8,99	-9,01	-9,00	0,010	0,42	0,1081
			9	-8,97	-8,99	-8,98	-9,00	-8,99	0,013	0,43	0,1217
			10								
			11								
Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	10 cm	15°	0	-9,25	-9,24	-9,23	-9,25	-9,24	0,010	0,00	0,0000
			1	-9,02	-9,02	-9,00	-9,01	-9,01	0,010	0,23	0,0138
			2	-9,00	-8,99	-8,98	-8,98	-8,99	0,010	0,25	0,0276
			3	-8,96	-8,95	-8,95	-8,94	-8,95	0,008	0,29	0,0415
			4	-8,92	-8,91	-8,90	-8,91	-8,91	0,008	0,33	0,0553
			5	-8,88	-8,87	-8,86	-8,88	-8,87	0,010	0,37	0,0692
			6	-8,81	-8,81	-8,80	-8,82	-8,81	0,008	0,43	0,0830
			7	-8,78	-8,79	-8,78	-8,79	-8,79	0,006	0,45	0,0969
			8								
Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	10 cm	10°	0	-9,16	-9,18	-9,18	-9,17	-9,17	0,010	0,00	0,0000
			1	-8,93	-8,93	-8,92	-8,93	-8,93	0,005	0,24	0,0141
			2	-8,87	-8,86	-8,86	-8,87	-8,87	0,006	0,30	0,0281
			3	-8,80	-8,79	-8,78	-8,80	-8,79	0,010	0,38	0,0422
			4	-8,72	-8,71	-8,70	-8,72	-8,71	0,010	0,46	0,0563
			5	-8,69	-8,68	-8,68	-8,69	-8,69	0,006	0,49	0,0704
			6								
Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	10 cm	5°	0	-9,05	-9,03	-9,04	-9,03	-9,04	0,010	0,00	0,0000
			1	-8,78	-8,76	-8,77	-8,76	-8,77	0,010	0,27	0,0142
			2	-8,67	-8,65	-8,66	-8,66	-8,66	0,008	0,38	0,0285
			3	-8,57	-8,56	-8,56	-8,55	-8,56	0,008	0,48	0,0427
			4								
			5								
Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	10 cm	0°	0	-8,96	-8,94	-8,95	-8,94	-8,95	0,010	0,00	0,0000
			1	-8,67	-8,65	-8,66	-8,65	-8,66	0,010	0,29	0,0143
			2								
			3								
			4								



**TABEL A2: Rugi Daya Serat Optik Berstruktur SMS dengan Laser Panjang Gelombang 1550 nm**

Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	8cm	20 <sup>0</sup>	0	-9,55	-9,53	-9,54	-9,55	-9,54	0,010	0,00	0,0000
			1	-9,37	-9,36	-9,35	-9,36	-9,36	0,008	0,18	0,0138
			2	-9,28	-9,29	-9,29	-9,3	-9,29	0,008	0,25	0,0277
			3	-9,24	-9,25	-9,26	-9,28	-9,26	0,017	0,28	0,0416
			4	-9,23	-9,21	-9,21	-9,17	-9,21	0,025	0,33	0,0555
			5	-9,19	-9,16	-9,16	-9,17	-9,17	0,014	0,37	0,0694
			6	-9,16	-9,14	-9,14	-9,14	-9,15	0,010	0,40	0,0833
			7	-9,13	-9,11	-9,12	-9,13	-9,12	0,010	0,42	0,0973
			8	-9,11	-9,10	-9,09	-9,10	-9,10	0,008	0,44	0,1113
			9	-9,10	-9,09	-9,07	-9,09	-9,09	0,013	0,45	0,1253
			10								
1550	8 cm	15 <sup>0</sup>	0	-9,35	-9,33	-9,34	-9,35	-9,34	0,010	0,00	0,0000
			1	-9,15	-9,14	-9,14	-9,15	-9,15	0,006	0,20	0,0142
			2	-9,07	-9,07	-9,08	-9,07	-9,07	0,005	0,27	0,0284
			3	-9,04	-9,03	-9,04	-9,03	-9,04	0,006	0,31	0,0427
			4	-8,99	-8,99	-8,98	-8,98	-8,99	0,006	0,36	0,0569
			5	-8,95	-8,96	-8,95	-8,94	-8,95	0,008	0,39	0,0712
			6	-8,92	-8,92	-8,91	-8,91	-8,92	0,006	0,43	0,0855
			7	-8,89	-8,88	-8,87	-8,88	-8,88	0,008	0,46	0,0998
			8								
1550	8 cm	10 <sup>0</sup>	0	-9,21	-9,20	-9,19	-9,21	-9,20	0,010	0,00	0,0000
			1	-9,00	-8,98	-8,97	-8,98	-8,98	0,013	0,22	0,0145
			2	-8,89	-8,88	-8,87	-8,88	-8,88	0,008	0,32	0,0290
			3	-8,81	-8,82	-8,8	-8,81	-8,81	0,008	0,39	0,0435
			4	-8,73	-8,74	-8,74	-8,75	-8,74	0,008	0,46	0,0580
			5	-8,71	-8,72	-8,72	-8,73	-8,72	0,008	0,48	0,0725
			6								
1550	8 cm	5 <sup>0</sup>	0	-9,12	-9,11	-9,12	-9,1	-9,11	0,010	0,00	0,0000
			1	-8,87	-8,85	-8,85	-8,86	-8,86	0,010	0,25	0,0147
			2	-8,78	-8,77	-8,76	-8,76	-8,77	0,010	0,34	0,0293
			3	-8,70	-8,69	-8,70	-8,70	-8,70	0,005	0,41	0,0440
			4								
			5								
1550	8 cm	0 <sup>0</sup>	0	-9,07	-9,05	-9,06	-9,04	-9,06	0,013	0,01	0,0000
			1	-8,75	-8,74	-8,74	-8,72	-8,74	0,013	0,32	0,0148
			2								



**TABEL A3: Rugi Daya Serat Optik Berstruktur SMS dengan Laser Panjang Gelombang 1550 nm**

Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	6 cm	20°	0	-8,71	-8,72	-8,70	-8,70	-8,71	0,010	0,00	0,0000
			1	-8,84	-8,82	-8,83	-8,82	-8,83	0,010	-0,12	0,0143
			2	-8,86	-8,85	-8,84	-8,85	-8,85	0,008	-0,14	0,0285
			3	-8,88	-8,86	-8,85	-8,85	-8,86	0,014	-0,15	0,0428
			4	-8,89	-8,87	-8,87	-8,88	-8,88	0,010	-0,17	0,0572
			5	-8,9	-8,88	-8,88	-8,90	-8,89	0,012	-0,18	0,0715
			6	-8,91	-8,91	-8,91	-8,92	-8,91	0,005	-0,20	0,0859
			7	-8,94	-8,93	-8,92	-8,93	-8,93	0,008	-0,22	0,1003
			8	-8,96	-8,95	-8,95	-8,94	-8,95	0,008	-0,24	0,1147
			9	-8,96	-8,97	-8,98	-8,97	-8,97	0,008	-0,26	0,1291
			10								
			11								
Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	6 cm	15°	0	-8,58	-8,59	-8,6	-8,59	-8,59	0,008	0,00	0,0000
			1	-8,76	-8,74	-8,75	-8,76	-8,75	0,010	-0,16	0,0146
			2	-8,79	-8,8	-8,81	-8,79	-8,80	0,010	-0,21	0,0293
			3	-8,82	-8,83	-8,82	-8,81	-8,82	0,008	-0,23	0,0440
			4	-8,84	-8,84	-8,84	-8,82	-8,84	0,010	-0,25	0,0587
			5	-8,87	-8,85	-8,86	-8,85	-8,86	0,010	-0,27	0,0734
			6	-8,9	-8,89	-8,89	-8,88	-8,89	0,008	-0,30	0,0881
			7	-8,93	-8,92	-8,93	-8,91	-8,92	0,010	-0,33	0,1028
			8								
Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	6 cm	10°	0	-8,46	-8,44	-8,45	-8,44	-8,45	0,010	0,00	0,0000
			1	-8,65	-8,64	-8,64	-8,63	-8,64	0,008	-0,19	0,0149
			2	-8,69	-8,69	-8,70	-8,71	-8,70	0,010	-0,25	0,0299
			3	-8,73	-8,72	-8,73	-8,73	-8,73	0,005	-0,28	0,0448
			4	-8,77	-8,75	-8,76	-8,76	-8,76	0,008	-0,31	0,0597
			5	-8,8	-8,79	-8,8	-8,81	-8,80	0,008	-0,35	0,0747
			6								
Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	6 cm	5°	0	-8,32	-8,31	-8,34	-8,33	-8,33	0,013	0,00	0,0000
			1	-8,55	-8,57	-8,56	-8,56	-8,56	0,008	-0,23	0,0151
			2	-8,6	-8,61	-8,61	-8,61	-8,61	0,005	-0,28	0,0302
			3	-8,65	-8,66	-8,66	-8,67	-8,66	0,008	-0,32	0,0453
			4								
			5								
Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	6 cm	0°	0	-8,26	-8,25	-8,26	-8,26	-8,26	0,005	0	0,0000
			1	-8,58	-8,56	-8,58	-8,57	-8,57	0,010	-0,31	0,0152
			2								
			3								
			4								



**TABEL A4: Rugi Daya Serat Optik Berstruktur SMS Dengan Laser Panjang Gelombang 1550 nm**

Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	4 cm	20°	0	-8,55	-8,52	-8,54	-8,55	-8,54	0,014	0	0,0000
			1	-8,71	-8,70	-8,70	-8,71	-8,71	0,006	-0,17	0,0147
			2	-8,75	-8,74	-8,73	-8,73	-8,74	0,010	-0,20	0,0294
			3	-8,78	-8,76	-8,76	-8,75	-8,76	0,013	-0,22	0,0442
			4	-8,81	-8,80	-8,80	-8,78	-8,80	0,013	-0,26	0,0590
			5	-8,83	-8,82	-8,83	-8,81	-8,82	0,010	-0,28	0,0738
			6	-8,85	-8,84	-8,86	-8,84	-8,85	0,010	-0,31	0,0886
			7	-8,89	-8,89	-8,85	-8,83	-8,87	0,030	-0,33	0,1034
			8	-8,90	-8,91	-8,87	-8,87	-8,89	0,021	-0,35	0,1183
			9	-8,92	-8,93	-8,89	-8,89	-8,91	0,021	-0,37	0,1332
			10								
			11								
Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	4 cm	15°	0	-8,39	-8,37	-8,39	-8,38	-8,38	0,010	0	0,0000
			1	-8,61	-8,60	-8,60	-8,59	-8,60	0,008	-0,22	0,0151
			2	-8,64	-8,63	-8,62	-8,62	-8,63	0,010	-0,24	0,0302
			3	-8,69	-8,67	-8,68	-8,66	-8,68	0,013	-0,29	0,0453
			4	-8,75	-8,71	-8,72	-8,71	-8,72	0,019	-0,34	0,0605
			5	-8,78	-8,76	-8,76	-8,75	-8,76	0,013	-0,38	0,0757
			6	-8,80	-8,79	-8,78	-8,77	-8,79	0,013	-0,40	0,0908
			7	-8,81	-8,80	-8,79	-8,78	-8,80	0,013	-0,41	0,1060
			8								
Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	4 cm	10°	0	-8,26	-8,25	-8,27	-8,26	-8,26	0,008	0	0,0000
			1	-8,51	-8,50	-8,52	-8,50	-8,51	0,010	-0,25	0,0154
			2	-8,57	-8,56	-8,57	-8,57	-8,57	0,005	-0,31	0,0308
			3	-8,63	-8,61	-8,62	-8,62	-8,62	0,008	-0,36	0,0462
			4	-8,67	-8,66	-8,67	-8,67	-8,67	0,005	-0,41	0,0616
			5	-8,70	-8,69	-8,69	-8,71	-8,70	0,010	-0,44	0,0770
			6								
Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	4 cm	5°	0	-8,15	-8,14	-8,16	-8,15	-8,15	0,008	0	0,0000
			1	-8,42	-8,41	-8,43	-8,41	-8,42	0,010	-0,27	0,0155
			2	-8,58	-8,56	-8,57	-8,56	-8,57	0,010	-0,42	0,0311
			3	-8,60	-8,61	-8,60	-8,60	-8,60	0,005	-0,45	0,0467
			4								
			5								
Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	4 cm	0°	0	-8,09	-8,10	-8,10	-8,10	-8,10	0,005	0	0,0000
			1	-8,40	-8,39	-8,41	-8,41	-8,40	0,010	-0,30	0,0156
			2								
			3								
			4								



## LAMPIRAN B

**TABEL B1: Rugi Daya Serat Optik Berstruktur SMS dengan Laser Panjang Gelombang 1310 nm**

Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	10cm	20°	0	-9,78	-9,76	-9,76	-9,77	-9,77	0,010	0	0,0000
			1	-9,63	-9,61	-9,62	-9,61	-9,62	0,010	0,15	0,0134
			2	-9,56	-9,55	-9,55	-9,57	-9,56	0,010	0,21	0,0269
			3	-9,52	-9,51	-9,51	-9,52	-9,52	0,006	0,25	0,0404
			4	-9,48	-9,47	-9,47	-9,46	-9,47	0,008	0,30	0,0539
			5	-9,44	-9,42	-9,43	-9,42	-9,43	0,010	0,34	0,0674
			6	-9,41	-9,40	-9,40	-9,39	-9,40	0,008	0,37	0,0809
			7	-9,37	-9,36	-9,36	-9,35	-9,36	0,008	0,41	0,0945
			8	-9,35	-9,33	-9,34	-9,32	-9,34	0,013	0,43	0,1081
			9	-9,32	-9,30	-9,31	-9,30	-9,31	0,010	0,46	0,1217
			10								
			11								
Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	10 cm	15°	0	-9,63	-9,61	-9,63	-9,62	-9,62	0,010	0	0,0000
			1	-9,43	-9,41	-9,43	-9,41	-9,42	0,012	0,20	0,0138
			2	-9,38	-9,36	-9,38	-9,36	-9,37	0,012	0,25	0,0276
			3	-9,32	-9,3	-9,31	-9,3	-9,31	0,010	0,32	0,0415
			4	-9,28	-9,27	-9,27	-9,27	-9,27	0,005	0,35	0,0553
			5	-9,25	-9,23	-9,24	-9,24	-9,24	0,008	0,38	0,0692
			6	-9,21	-9,19	-9,19	-9,2	-9,20	0,010	0,43	0,0830
			7	-9,18	-9,16	-9,17	-9,18	-9,17	0,010	0,45	0,0969
			8								
Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	10 cm	10°	0	-9,47	-9,46	-9,47	-9,47	-9,47	0,005	0	0,0000
			1	-9,25	-9,23	-9,25	-9,24	-9,24	0,010	0,23	0,0141
			2	-9,22	-9,18	-9,21	-9,2	-9,20	0,017	0,26	0,0281
			3	-9,15	-9,12	-9,13	-9,12	-9,13	0,014	0,34	0,0422
			4	-9,11	-9,09	-9,1	-9,08	-9,10	0,013	0,37	0,0563
			5	-9,07	-9,06	-9,06	-9,05	-9,06	0,008	0,41	0,0704
			6								
Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	10 cm	5°	0	-9,35	-9,33	-9,34	-9,35	-9,34	0,010	0	0,0000
			1	-9,10	-9,08	-9,09	-9,09	-9,09	0,008	0,25	0,0142
			2	-9,04	-9,04	-9,03	-9,03	-9,04	0,006	0,31	0,0285
			3	-8,99	-8,99	-8,98	-8,99	-8,99	0,005	0,35	0,0427
			4								
			5								
Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	10 cm	0°	0	-9,20	-9,19	-9,20	-9,21	-9,20	0,008	0	0,0000
			1	-8,86	-8,85	-8,87	-8,88	-8,87	0,013	0,33	0,0143
			2								
			3								
			4								



**TABEL B2: Rugi Daya Serat Optik Berstruktur SMS dengan Laser Panjang Gelombang 1310 nm**

Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	8cm	20 <sup>0</sup>	0	-9,55	-9,56	-9,55	-9,54	-9,55	0,008	0	0,0000
			1	-9,41	-9,42	-9,41	-9,40	-9,41	0,008	0,14	0,0138
			2	-9,37	-9,38	-9,37	-9,37	-9,37	0,005	0,18	0,0277
			3	-9,33	-9,35	-9,34	-9,34	-9,34	0,008	0,21	0,0416
			4	-9,31	-9,33	-9,32	-9,32	-9,32	0,008	0,23	0,0555
			5	-9,28	-9,30	-9,30	-9,31	-9,30	0,013	0,25	0,0694
			6	-9,25	-9,27	-9,27	-9,28	-9,27	0,013	0,28	0,0833
			7	-9,24	-9,25	-9,25	-9,26	-9,25	0,008	0,30	0,0973
			8	-9,22	-9,23	-9,23	-9,23	-9,23	0,005	0,32	0,1113
			9	-9,21	-9,22	-9,22	-9,22	-9,22	0,005	0,33	0,1253
			10								
Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	8 cm	15 <sup>0</sup>	0	-9,41	-9,40	-9,41	-9,41	-9,41	0,005	0	0,0000
			1	-9,25	-9,24	-9,25	-9,25	-9,25	0,005	0,16	0,0142
			2	-9,20	-9,21	-9,20	-9,20	-9,20	0,005	0,21	0,0284
			3	-9,18	-9,17	-9,17	-9,16	-9,17	0,008	0,24	0,0427
			4	-9,15	-9,14	-9,14	-9,13	-9,14	0,008	0,27	0,0569
			5	-9,13	-9,11	-9,12	-9,11	-9,12	0,010	0,29	0,0712
			6	-9,10	-9,08	-9,09	-9,07	-9,09	0,013	0,32	0,0855
			7	-9,07	-9,06	-9,06	-9,05	-9,06	0,008	0,35	0,0998
			8								
Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	8 cm	10 <sup>0</sup>	0	-9,30	-9,29	-9,30	-9,30	-9,30	0,005	0	0,0000
			1	-9,13	-9,12	-9,13	-9,13	-9,13	0,005	0,17	0,0145
			2	-9,10	-9,09	-9,09	-9,11	-9,10	0,010	0,20	0,0290
			3	-9,05	-9,04	-9,04	-9,06	-9,05	0,010	0,25	0,0435
			4	-9,00	-9,00	-8,99	-9,00	-9,00	0,005	0,30	0,0580
			5	-8,96	-8,96	-8,95	-8,96	-8,96	0,005	0,34	0,0725
			6								
Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	8 cm	5 <sup>0</sup>	0	-9,17	-9,16	-9,17	-9,17	-9,17	0,005	0	0,0000
			1	-8,95	-8,96	-8,95	-8,95	-8,95	0,005	0,22	0,0147
			2	-8,92	-8,93	-8,92	-8,92	-8,92	0,005	0,25	0,0293
			3	-8,86	-8,86	-8,87	-8,86	-8,86	0,005	0,31	0,0440
			4								
			5								
Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	8 cm	0 <sup>0</sup>	0	-9,02	-9,01	-9,02	-9,03	-9,02	0,008	0	0,0000
			1	-8,72	-8,71	-8,72	-8,72	-8,72	0,005	0,30	0,0148
			2								



**TABEL B3: Rugi Daya Serat Optik Berstruktur SMS dengan Laser Panjang Gelombang 1310 nm**

Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	6 cm	20°	0	-9,11	-9,1	-9,11	-9,12	-9,11	0,008	0	0,0000
			1	-9,22	-9,21	-9,22	-9,23	-9,22	0,008	-0,11	0,0143
			2	-9,25	-9,24	-9,24	-9,25	-9,25	0,006	-0,14	0,0285
			3	-9,27	-9,27	-9,26	-9,27	-9,27	0,005	-0,16	0,0428
			4	-9,3	-9,31	-9,3	-9,3	-9,30	0,005	-0,19	0,0572
			5	-9,31	-9,33	-9,32	-9,32	-9,32	0,008	-0,21	0,0715
			6	-9,34	-9,36	-9,35	-9,35	-9,35	0,008	-0,24	0,0859
			7	-9,36	-9,37	-9,37	-9,37	-9,37	0,005	-0,26	0,1003
			8	-9,37	-9,38	-9,39	-9,38	-9,38	0,008	-0,27	0,1147
			9	-9,39	-9,39	-9,41	-9,4	-9,40	0,010	-0,29	0,1291
			10								
			11								
Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	6 cm	15°	0	-8,95	-8,96	-8,97	-8,96	-8,96	0,008	0	0,0000
			1	-9,15	-9,14	-9,13	-9,14	-9,14	0,008	-0,18	0,0146
			2	-9,19	-9,18	-9,19	-9,18	-9,19	0,006	-0,22	0,0293
			3	-9,24	-9,23	-9,24	-9,23	-9,24	0,006	-0,27	0,0440
			4	-9,28	-9,27	-9,27	-9,26	-9,27	0,008	-0,31	0,0587
			5	-9,3	-9,29	-9,28	-9,28	-9,29	0,010	-0,33	0,0734
			6	-9,32	-9,31	-9,3	-9,3	-9,31	0,010	-0,35	0,0881
			7	-9,33	-9,32	-9,32	-9,31	-9,32	0,008	-0,36	0,1028
			8								
Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	6 cm	10°	0	-8,82	-8,82	-8,83	-8,81	-8,82	0,008	0	0,0000
			1	-9,03	-9,02	-9,04	-9,03	-9,03	0,008	-0,21	0,0149
			2	-9,06	-9,05	-9,06	-9,07	-9,06	0,008	-0,24	0,0299
			3	-9,09	-9,08	-9,08	-9,09	-9,09	0,006	-0,27	0,0448
			4	-9,13	-9,12	-9,13	-9,13	-9,13	0,005	-0,31	0,0597
			5	-9,17	-9,16	-9,17	-9,17	-9,17	0,005	-0,35	0,0747
			6								
Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	6 cm	5°	0	-8,75	-8,75	-8,74	-8,75	-8,75	0,005	0	0,0000
			1	-8,98	-8,99	-8,99	-8,98	-8,99	0,006	-0,24	0,0151
			2	-9,02	-9,03	-9,03	-9,04	-9,03	0,008	-0,28	0,0302
			3	-9,05	-9,06	-9,06	-9,07	-9,06	0,008	-0,31	0,0453
			4								
			5								
Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	6 cm	0°	0	-8,66	-8,65	-8,64	-8,65	-8,65	0,008	0	0,0000
			1	-8,93	-8,92	-8,93	-8,91	-8,92	0,010	-0,27	0,0152
			2								
			3								
			4								



**TABEL B4: Rugi Daya Serat Optik Berstruktur SMS Dengan Laser Panjang Gelombang 1310 nm**

Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	4 cm	20°	0	-9,00	-8,99	-9,01	-9,01	-9,00	0,010	0	0,0000
			1	-9,13	-9,12	-9,13	-9,14	-9,13	0,008	-0,13	0,0147
			2	-9,14	-9,14	-9,14	-9,15	-9,14	0,005	-0,14	0,0294
			3	-9,17	-9,16	-9,17	-9,17	-9,17	0,005	-0,17	0,0442
			4	-9,18	-9,18	-9,18	-9,18	-9,18	0,000	-0,18	0,0590
			5	-9,2	-9,2	-9,21	-9,19	-9,20	0,008	-0,20	0,0738
			6	-9,22	-9,23	-9,23	-9,21	-9,22	0,010	-0,22	0,0886
			7	-9,24	-9,25	-9,24	-9,23	-9,24	0,008	-0,24	0,1034
			8	-9,25	-9,26	-9,26	-9,25	-9,26	0,006	-0,25	0,1183
			9	-9,28	-9,28	-9,29	-9,28	-9,28	0,005	-0,28	0,1332
			10								
			11								
Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	4 cm	15°	0	-8,83	-8,82	-8,83	-8,82	-8,83	0,006	0	0,0000
			1	-8,98	-8,97	-8,98	-8,97	-8,98	0,006	-0,15	0,0151
			2	-9,00	-8,99	-9,00	-8,99	-9,00	0,006	-0,17	0,0302
			3	-9,01	-9,00	-9,01	-9,01	-9,01	0,005	-0,18	0,0453
			4	-9,03	-9,02	-9,03	-9,03	-9,03	0,005	-0,20	0,0605
			5	-9,06	-9,05	-9,06	-9,06	-9,06	0,005	-0,23	0,0757
			6	-9,11	-9,10	-9,10	-9,11	-9,11	0,006	-0,28	0,0908
			7	-9,14	-9,13	-9,13	-9,14	-9,14	0,006	-0,31	0,1060
			8								
Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	4 cm	10°	0	-8,83	-8,82	-8,83	-8,82	-8,83	0,006	0	0,0000
			1	-8,98	-8,97	-8,98	-8,97	-8,98	0,006	-0,15	0,0151
			2	-9,00	-8,99	-9,00	-8,99	-9,00	0,006	-0,17	0,0302
			3	-9,01	-9,00	-9,01	-9,01	-9,01	0,005	-0,18	0,0453
			4	-9,03	-9,02	-9,03	-9,03	-9,03	0,005	-0,20	0,0605
			5	-9,06	-9,05	-9,06	-9,06	-9,06	0,005	-0,23	0,0757
			6								
Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	4 cm	5°	0	-8,55	-8,55	-8,54	-8,55	-8,55	0,005	0,00	0,0000
			1	-8,75	-8,75	-8,75	-8,76	-8,75	0,005	-0,21	0,0155
			2	-8,77	-8,77	-8,77	-8,78	-8,77	0,005	-0,23	0,0311
			3	-8,81	-8,82	-8,80	-8,81	-8,81	0,008	-0,27	0,0467
			4								
			5								
Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) nm	Panjang Multimode (cm)	Sudut Pergeseran (derajat)	Jarak Pergeseran (mm)	Daya Keluaran (dBm)					Standar Dev	Rugi daya (dBm)	Strain ( $\epsilon$ )
				I1	I2	I3	I4	I rata-rata			
1550	4 cm	0°	0	-8,46	-8,45	-8,45	-8,46	-8,46	0,006	0	0,0000
			1	-8,71	-8,70	-8,70	-8,69	-8,70	0,008	-0,26	0,0156
			2								
			3								
			4								

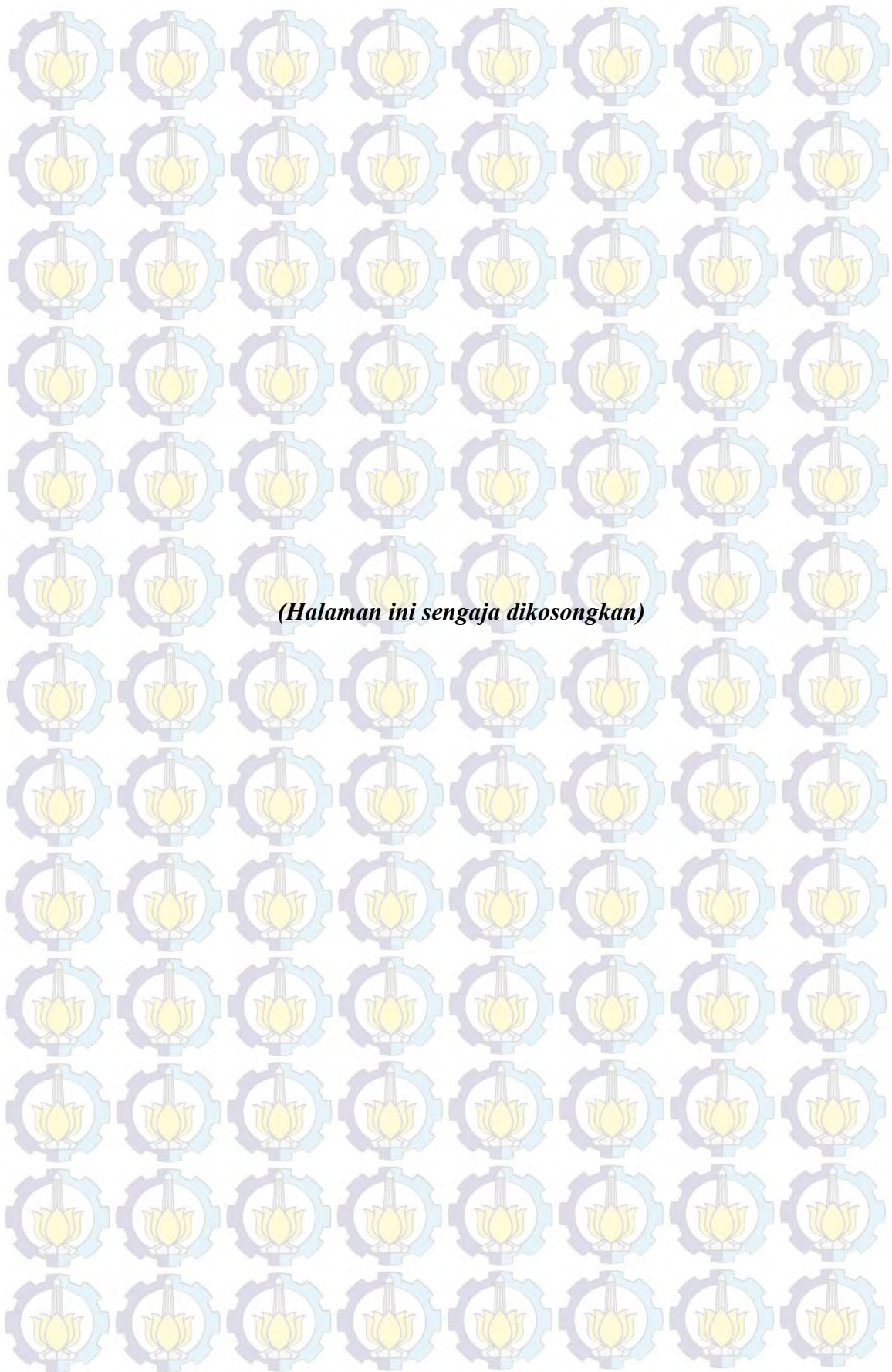


## LAMPIRAN C

**TABEL C1 Estmasi Rugi daya dengan Regresi linier dan Laser Panjang Gelombang 1550 nm**

Panjang Serat Optik Multimode yang Digunakan								
Sudut ( $\theta^0$ )	4 cm		6 cm		8 cm		10 cm	
	Rugi daya (dBm)		Rugi daya (dBm)		Rugi daya (dBm)		Rugi daya (dBm)	
	Hasil Pengukuran	Hasil Estimasi	Hasil Pengukuran	Hasil Estimasi	Hasil Pengukuran	Hasil Estimasi	Hasil Pengukuran	Hasil Estimasi
0	-0,30	-0,304	-0,31	-0,292	0,32	0,300	0,29	0,292
1		-0,298		-0,283		0,293		0,287
2		-0,292		-0,274		0,287		0,282
3		-0,285		-0,265		0,280		0,278
4		-0,279		-0,256		0,274		0,273
5	-0,27	-0,273	-0,23	-0,247	0,25	0,267	0,27	0,268
6		-0,267		-0,238		0,260		0,263
7		-0,261		-0,229		0,254		0,258
8		-0,254		-0,220		0,247		0,254
9		-0,248		-0,211		0,241		0,249
10	-0,25	-0,242	-0,19	-0,202	0,22	0,234	0,24	0,244
11		-0,236		-0,193		0,227		0,239
12		-0,230		-0,184		0,221		0,234
13		-0,223		-0,175		0,214		0,230
14		-0,217		-0,166		0,208		0,225
15	-0,22	-0,211	-0,16	-0,157	0,20	0,201	0,23	0,220
16		-0,205		-0,148		0,194		0,215
17		-0,199		-0,139		0,188		0,210
18		-0,192		-0,130		0,181		0,206
19		-0,186		-0,121		0,175		0,201
20	-0,17	-0,180	-0,12	-0,112	0,18	0,168	0,19	0,196
21		-0,174		-0,103		0,161		0,191
22		-0,168		-0,094		0,155		0,186
23		-0,161		-0,085		0,148		0,182
24		-0,155		-0,076		0,142		0,177
25		-0,149		-0,067		0,135		0,172
26		-0,143		-0,058		0,128		0,167
27		-0,137		-0,049		0,122		0,162
28		-0,130		-0,040		0,115		0,158
29		-0,124		-0,031		0,109		0,153
30		-0,118		-0,022		0,102		0,148





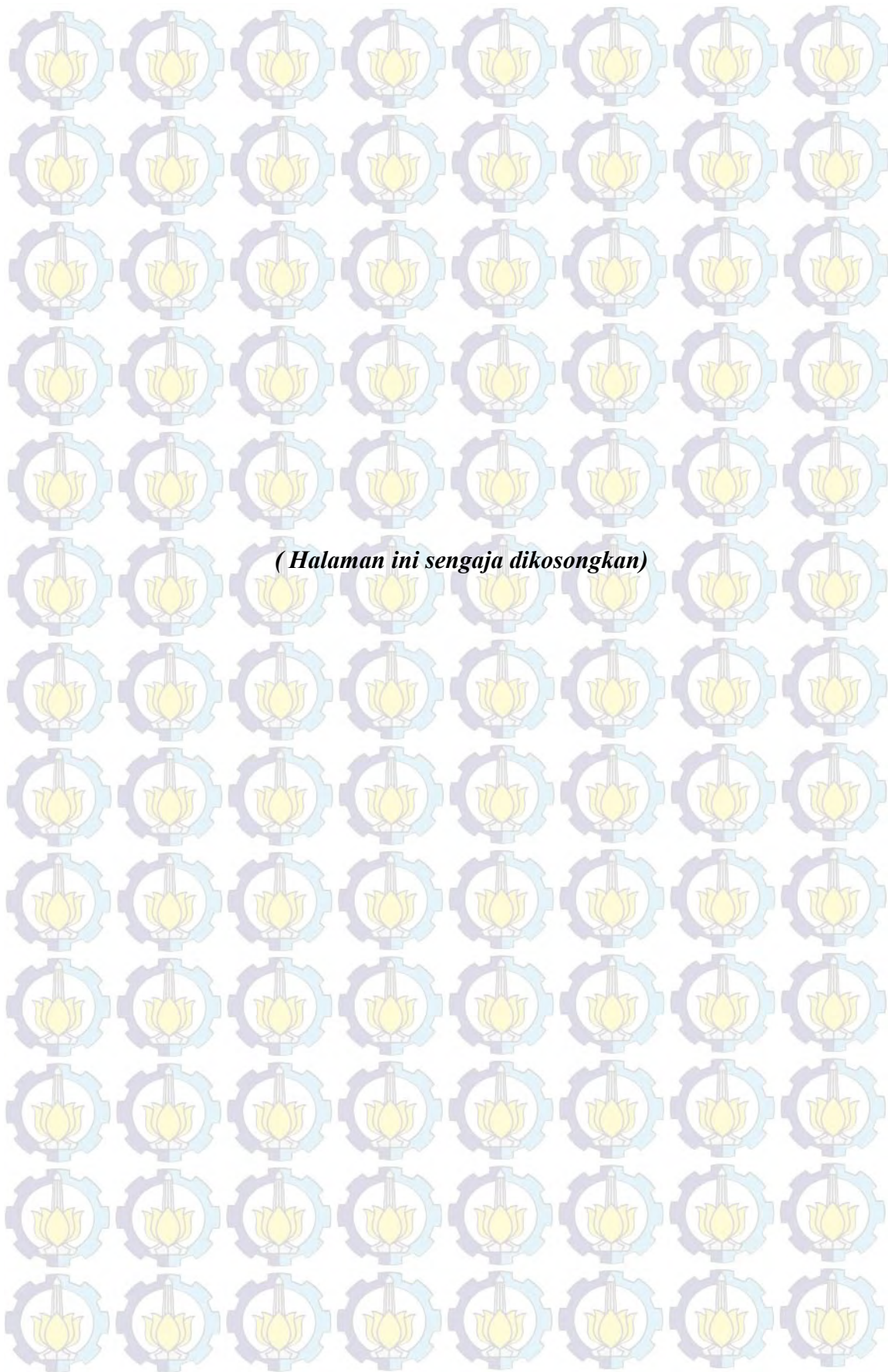


## LAMPIRAN D

**TABEL D1 Estmasi Rugi daya dengan Regresi linier dan Laser Panjang Gelombang 1310 nm**

Panjang Serat Optik Multimode yang Digunakan								
Sudut ( $^{\circ}$ )	4 cm		6 cm		8 cm		10 cm	
	Rugi daya (dBm)		Rugi daya (dBm)		Rugi daya (dBm)		Rugi daya (dBm)	
	Hasil Pengukuran	Hasil Estimasi	Hasil Pengukuran	Hasil Estimasi	Hasil Pengukuran	Hasil Estimasi	Hasil Pengukuran	Hasil Estimasi
0	-0,26	-0,248	-0,27	-0,278	0,30	0,274	0,33	0,314
1		-0,242		-0,270		0,266		0,306
2		-0,235		-0,263		0,259		0,298
3		-0,229		-0,255		0,251		0,289
4		-0,222		-0,248		0,244		0,281
5	-0,21	-0,216	-0,24	-0,241	0,22	0,236	0,25	0,273
6		-0,210		-0,232		0,228		0,265
7		-0,203		-0,225		0,221		0,257
8		-0,197		-0,217		0,213		0,248
9		-0,190		-0,210		0,206		0,240
10	-0,17	-0,184	-0,21	-0,202	0,17	0,198	0,23	0,232
11		-0,178		-0,194		0,190		0,224
12		-0,171		-0,187		0,183		0,216
13		-0,165		-0,179		0,175		0,207
14		-0,158		-0,172		0,168		0,199
15	-0,15	-0,152	-0,18	-0,164	0,16	0,162	0,20	0,191
16		-0,146		-0,156		0,152		0,183
17		-0,139		-0,149		0,145		0,175
18		-0,133		-0,141		0,137		0,166
19		-0,126		-0,134		0,130		0,158
20	-0,13	-0,120	-0,11	-0,126	0,14	0,122	0,15	0,151
21		-0,114		-0,118		0,114		0,142
22		-0,107		-0,111		0,107		0,134
23		-0,101		-0,103		0,099		0,125
24		-0,094		-0,096		0,092		0,117
25		-0,088		-0,088		0,084		0,109
26		-0,082		-0,080		0,076		0,101
27		-0,075		-0,073		0,069		0,093
28		-0,069		-0,065		0,061		0,084
29		-0,062		-0,058		0,054		0,076
30		-0,056		-0,050		0,046		0,068



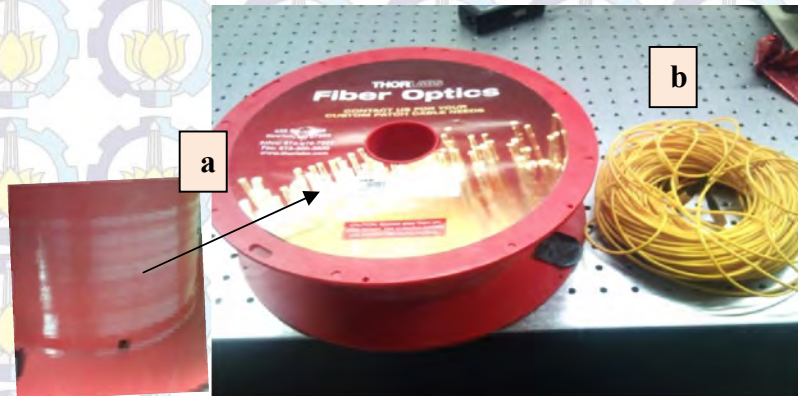




## LAMPIRAN E

### BAHAN DAN ALAT YANG DIGUNAKAN DALAM PENELITIAN

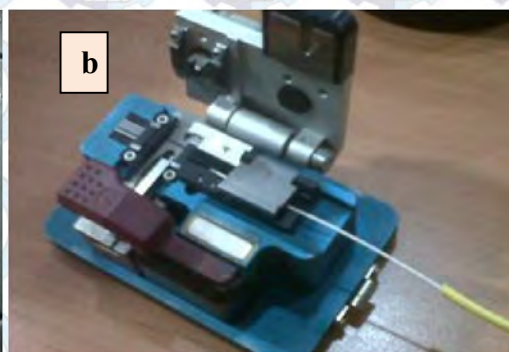
#### 1. Bahan dan piranti yang digunakan dalam pembuatan Sensor SMS



(a) Gambar serat optik multimode tipe GIF 625 -100 (b) Gambar serat optik singlemode SMF 28 dengan diameter inti 8,3  $\mu\text{m}$



(a) Gambar alat pemotong jaket serat optik (b) alat pegupas jaket serat optik dan (c) alat untuk mengerik cladding serat optik



(a) Alat yang digunakan untuk memotong serat optik ( *fiber cleaver* ) (b) Cara pemotongan se rat optik dengan *fiber cleaver*







## 2. Set up peralatan sensor pergeseran

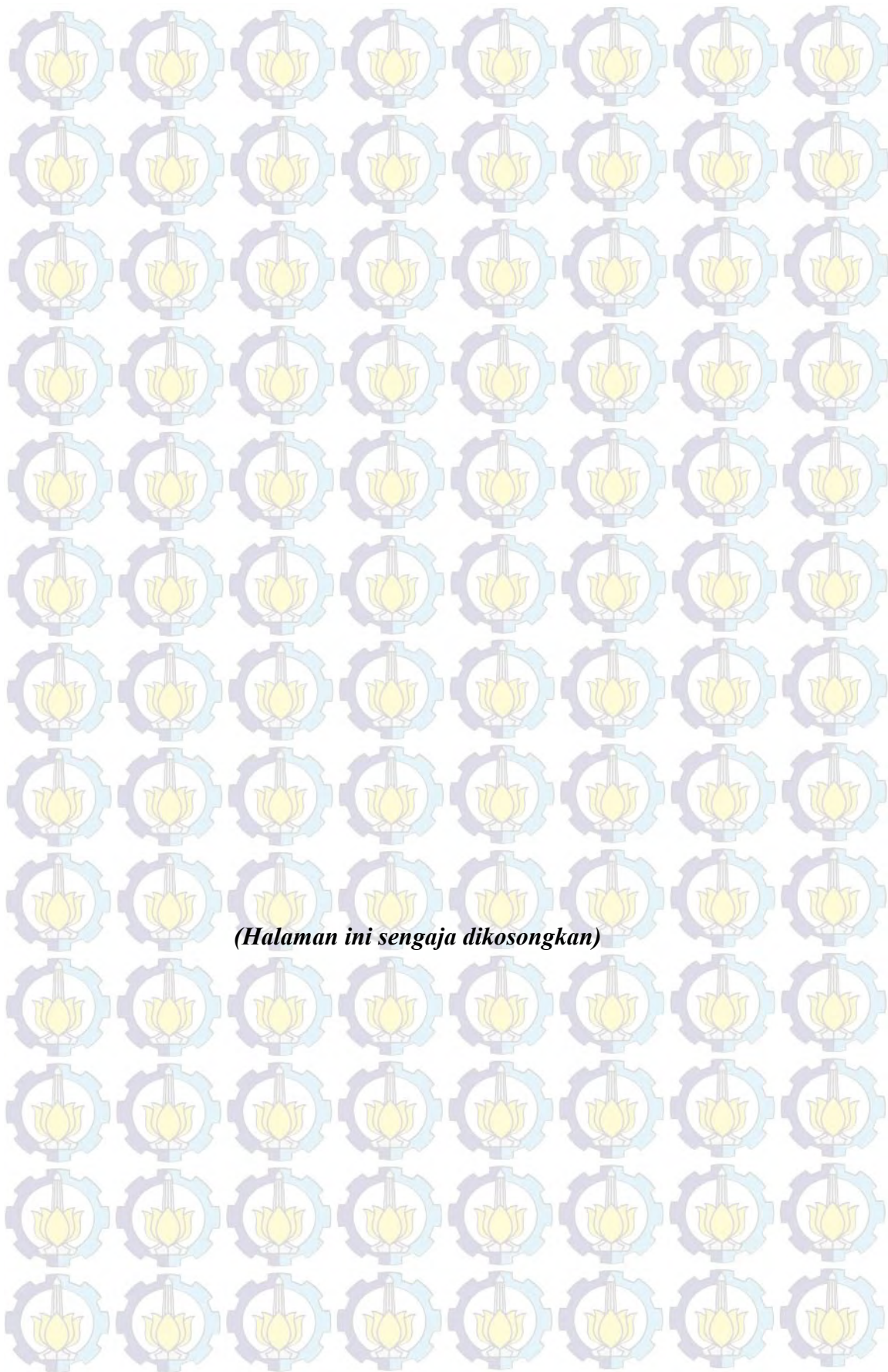


(a) Gambar Susunan alat sensor pergeseran (b) Gambar Pengukuran kemiringan sumbu sensor



(c) Gambar sensor pergeseran yang telah terpasang









## LAMPIRAN F

## PUBLIKASI

**Agus Rino, A. M. Hatta, Sekartedjo.**

“Karakterisasi Sensor Pergeseran Berbasis Serat Optik Berstruktur *Singlemode* – *Multimode* – *Singlemode* (SMS)”

*Symposium Fisika Nasional XXVI HFI, Oktober 2013, Universitas Malang.*

*Malang – Indonesia.*

**[Accepted]**